

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРУЖЕННОСТИ СИСТЕМЫ
МОРСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПАРОМНЫХ ПРИЧАЛОВ В РЕГИОНЕ МОРЯ
С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ
И ИЗМЕНЕНИЙ В МАРШРУТНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕТЯХ**

Н. Н. Майоров, М. Р. Язвенко

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

Темой исследования является одна из наиболее актуальных и сложных задач, а именно оценка загруженности причалов терминалов в регионе при формировании различных вариантов маршрутных сетей и учета изменений под воздействием внешних факторов. Отмечается, что для решения этой проблемы важно создать большие данные, которые позволяют принимать обоснованные решения о загруженности пассажирских причалов и создании новых паромных линий, основываясь на информации, полученной от цифровых двойников портов и прогнозировании различных сценариев паромных и круизных маршрутов. В качестве объекта исследования выбраны морские пассажирские порты и терминалы в регионе Балтийского моря. Обоснована необходимость многосценарного моделирования паромных судов с учетом особенностей причалов и анализа данных за навигацию. Для решения этой задачи разработана новая цифровая транспортная модель, которая описывает взаимодействие группы морских терминалов и паромных линий, что позволяет оптимизировать процесс обслуживания паромных судов. Также предложен новый метод маршрутизации паромных перевозок в регионе с использованием теории графов для выбора маршрутов круизных линий. В исследовании применяются методы многосценарного моделирования с учетом различных интенсивностей и инфраструктурных особенностей пассажирских портов. Основу исследования составил анализ реальных данных о пассажирских портах Балтийского моря и интенсивности движения паромов, что позволяет оценить эффективность предложенной модели после появления новых паромных линий в портах, таких как Санкт-Петербург, Хельсинки, Таллин и Стокгольм. Экспериментально представлены результаты воздействия введения новой паромной линии на загрузку причалов этих портов. Разработанный программный модуль цифровой модели порта позволяет получать данные для принятия решений как в операционном управлении морскими пассажирскими портами, так и для прогнозирования их развития. Изученный имитационный инструментарий помогает оценить работу системы морских пассажирских портов и определить загруженность причалов в зависимости от изменений маршрутной сети, что позволяет более эффективно решать задачи принятия решений в условиях неопределенности. На основе многосценарных данных о загруженности причалов и изменениях в маршрутных сетях открываются возможности для проведения оптимизационных экспериментов, что поможет в дальнейшем определить стратегию развития морского пассажирского порта для лиц, принимающих решения.

Ключевые слова: паромные линии, приоритетная очередь, система массового обслуживания, имитационное моделирование, морской пассажирский порт, принятие решений, пассажирский порт, паромные суда, региональные особенности, увеличение пассажиропотока, модернизация портовой инфраструктуры.

Для цитирования:

Майоров, Н. Н. Исследование загруженности системы морских пассажирских паромных причалов в регионе моря с учетом динамического формирования и изменений в маршрутных региональных сетях / Н. Н. Майоров, М. Р. Язвенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2026. Т. 18. № 4. С. 580–592. EDN UILFBG. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-4-580-592.

**ASSESSMENT OF SEA PASSENGER FERRY BERTH OCCUPANCY UNDER DYNAMIC
FORMATION AND CHANGES IN REGIONAL ROUTE NETWORKS**

N. N. Maiorov, M. R. Yazvenko

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

The study addresses the assessment of berth occupancy at sea passenger terminals under different configurations of regional route networks and their changes caused by external factors. The relevance of the problem is associated with the need to generate large data sets that can support informed decisions on passenger berth utilization and the development of new ferry lines using information obtained from digital port twins and forecasts of different ferry and cruise route scenarios. Sea passenger ports and terminals in the Baltic Sea region were selected as the object of the study. The need for multi-scenario simulation of ferry traffic taking into account berth characteristics and navigation-period data is substantiated. A new digital transport model describing the interaction between a group of sea terminals and ferry lines was developed to optimize ferry vessel handling. A new method for routing regional ferry services based on graph theory is also proposed for selecting cruise and ferry route options. The study applies multi-scenario simulation methods considering different traffic intensities and infrastructure characteristics of passenger ports. The model is based on actual data on Baltic Sea passenger ports and ferry traffic intensity. Its effectiveness is evaluated for the introduction of new ferry services involving St. Petersburg, Helsinki, Tallinn, and Stockholm. The effect of a new ferry line on berth occupancy at these ports is demonstrated experimentally. The developed software module of the digital port model provides data for both operational decision-making and forecasting the development of sea passenger ports. The simulation tools make it possible to assess the operation of a system of sea passenger ports and determine berth occupancy depending on changes in the route network. Multi-scenario data on berth occupancy and route-network changes can subsequently be used in optimization experiments to support strategic decisions on the development of sea passenger ports.

Keywords: ferry lines, priority queue, queueing system, simulation modelling, sea passenger port, decision-making, passenger port, ferry vessels, regional characteristics, passenger traffic growth, port infrastructure modernization.

For citation:

Maiorov, Nikolai N. and M. R. Yazvenko. "Assessment of sea passenger ferry berth occupancy under dynamic formation and changes in regional route networks" *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 18.4 (2026): 580–592. DOI: 10.21821/2309-5180-2026-18-4-580-592.

Введение (Introduction)

В настоящее время происходит изменение подходов к описанию процессов и принятию решений по маршрутизации паромных перевозок ввиду возрастания конкуренции на рынке, изменчивого динамического влияния внешней среды, а также поиска инструментальных цифровых средств, позволяющих решать задачу прогнозирования развития и формировать большие данные для анализа различных сценариев. Для лиц, принимающих решение, актуальным вопросом является решение задачи формирования больших данных при исследовании или прогнозировании различных вариантов изменений в маршрутных круизных и паромных сетях в регионе моря. При этом необходимо рассматривать не каждый терминал по отдельности с системой причалов, а комплексно систему морских пассажирских портов.

Руководители портов, принимающие решения, и судовладельцы, которые хотят привлечь большее количество пассажиров при условии наличия устоявшихся маршрутов в регионе моря и предложить новую паромную линию, находятся в ситуации неопределенности, располагая лишь ограниченными данными на навигацию. Под воздействием многих факторов и условий внешней среды для системы морских паромных линий возникают задачи, формирующие новые требования по операционной работе и прогнозированию развития. Для этого необходим переход от рассмотрения отдельных доступных к заходам пассажирских портов к исследованию взаимодействия технических систем «морская паромная / круизная линия – система морских пассажирских портов – региональная (городская) транспортная инфраструктура» для региона моря. Комплексная модель маршрутизации грузовых потоков с учетом особенностей региона, в том числе модель с предложением выделения отдельных маршрутных сегментов в регионе моря, представлена в статьях [1–3], а также модель приема паромных судов пассажирским портом, представленная в [4], позволяют сформировать необходимый объем данных для прогнозирования эффективности новой имитационной транспортной модели.

При введении нового маршрута или изменений под влиянием внешней среды набор данных и оценку различных сценариев эффективности новой паромной линии необходимо получать

с использованием многосценарного многопараметрического моделирования процессов на основе цифровых моделей и цифровых транспортных двойников [5–7]. Учет стохастического влияния внешней среды на морские пассажирские терминалы и линии конкурентов позволяет решать проблему стратегического развития для максимизации пассажиропотока, а также изменения положения круизной компании в регионе моря и на рынке пассажирских перевозок.

В исследовании представлены результаты разработки программного имитационного модуля, позволяющего выполнить многокритериальное моделирование загрузки группы причалов морских пассажирских портов в регионе моря одновременно (как с учетом использования планируемых данных на навигацию, так и при внесении изменений в маршрутные сети), для определения целесообразности вывода нового паромного маршрута на рынок паромных перевозок и исследования загруженности причалов системы портов, а также оценки положения порта в регионе.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Европа имеет статус наиболее развитого рынка паромных перевозок. Наибольшая интенсивность наблюдается в акватории Балтийского моря, где действуют многочисленные международные маршруты, соединяющие Скандинавию, страны Балтии и континентальную Европу. Значительный объем перевозок также осуществляется через пролив Ла-Манш, соединяющий Великобританию с Францией, и Средиземное море, где большая часть линий соединяет Италию с многочисленными островами. Регион Балтийского моря отличается наиболее интенсивным паромным сообщением. Исторически сформировавшиеся ключевые международные маршруты связывают страны Скандинавии, Балтии и континентальной Европы: Таллинн (Эстония) – Хельсинки (Финляндия), Стокгольм (Швеция) – Хельсинки, Рига (Латвия) – Стокгольм, а также множество маршрутов между Швецией и Польшей (Гданьск / Гдыня – Нюнесхамн / Карлскруна), Швецией и Германией (Треллеборг – Росток), Германией и Данией (Росток – Гедсер).

Учитывая пассажиропоток в каждом порту отправления и назначения, при достаточном количестве пассажиров, ожидающих перевозки, необходим оптимальный план транспортировки (маршрутной паромной сети) для минимизации транспортных издержек и максимизации прибыли, максимизации пассажиропотока. Данное условие направлено на определение оптимальной вместимости пассажирского судна или оценки эффективности маршрута и паромной линии. Задача оптимальной транспортировки из нескольких морских портов отправления (источников) в несколько пунктов назначения (приемников) является сложной (*NP*-трудной) задачей оптимизации [8].

Все пассажиры группируются по их направлению движения (например, Хельсинки – Таллинн или Таллинн – Хельсинки) на целочисленные группы $i = 1, 2, \dots, N$, где N — количество возможных направлений движения пассажиров и выбора маршрутных направлений. Судно с заданной вместимостью совершает рейсы из первого в последний порт, обозначенный $M + 1$ на рис. 1, с возможным набором промежуточных портов, обозначенных K . Цель состоит в том, чтобы найти стратегию максимальной загрузки круиза и последующего движения по маршруту через систему портов, которая минимизирует общие затраты на весь маршрут, состоящий из M портов на пути ($M \leq K$). Необходимо принять условие, что имеет место ситуация увеличения количества пассажиров круиза при прохождении системы морских пассажирских портов.

Для решения данной задачи используются методы поиска наименьшего пути в графе с несколькими начальными и конечными пунктами [1]. Некоторые порты имеют ограничения на прием паромного или круизного судна, многие порты являются промежуточными, в которых существующий спрос на пассажиров не обеспечивает прибыльности маршруту. Движение судов принимается от одного порта до другого, но в реальности возможны любые комбинации начальных и конечных пунктов, а сам маршрут, как правило, кольцевой. На рис. 1 вершины символизируют загрузку судна по каждой из групп пассажиров после погрузки в порту M . Соединения между вершинами представляют пассажиро- и грузооборот между этими морскими пассажирскими портами.

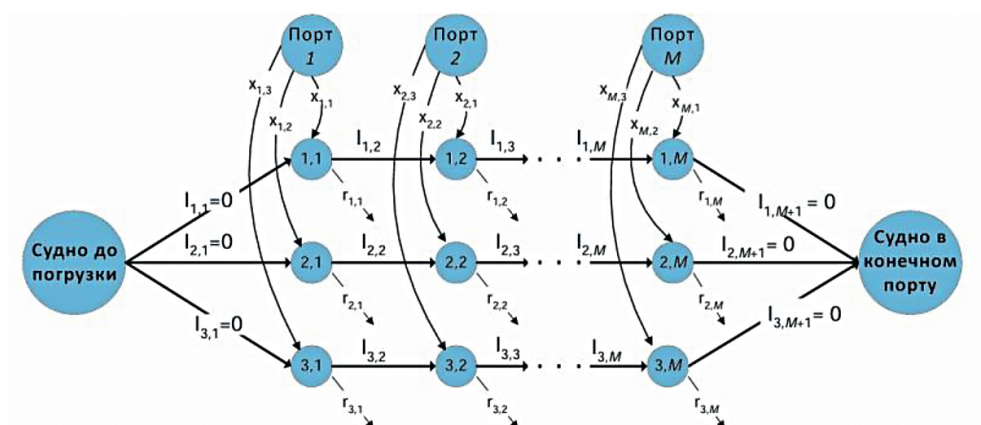


Рис. 1. Задача формирования маршрута паромного судна в виде потокового ориентированного ациклического графа
Fig. 1. Ferry Vessel Route Formation Problem Represented as a Flow-Based Directed Acyclic Graph

На рис. 1 использованы следующие условные обозначения:

вершины i, j — индексы загрузки судна (i — группа пассажиров; j — порт, в котором находится судно на данном этапе алгоритма);

m — индекс порта, в которой заходит судно (1, 2, ..., M);

$x_{i,m}$ — количество пассажиров, поднявшихся на борт судна в порту m , относящихся к группе i ;

$L_{xi,m}$ — ограничения по количеству пассажиров в порту по i -группе;

$I_{i,m}$ — количество пассажиров группы i на судне, в момент захода в порт m ;

$r_{i,m}$ — количество пассажиров группы i , покинувших судно в порту m : перед погрузкой в первом порту $I_{i,m} = 0$; после последнего порта $I_{i,M+1} = 0$ для $i = 1, \dots, N$.

Математическая модель приведенной на рис. 1 задачи формирования маршрута представлена в виде следующей формулы:

$$I_m = \sum_{i=1}^N x_{i,m} - r_{i,m}, \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, N$; $m = 1, \dots, M$.

Пусть C_m — это количество возможных вариантов загрузки групп пассажиров (погрузочных единиц) в порту M . Тогда, если принять, что до выхода судна на линию и загрузки в первом порту, и что после посещения последнего порта судно должно быть пустым, т. е. $C_1 = C_{m+1} = 1$, то общее число возможных вариантов погрузки судна при работе на паромной линии описывается формулой

$$C_p = \sum_{m=1}^{M+1} C_m. \quad (2)$$

Количество возможных вариантов соединения погрузочных единиц, т. е. перевозки из одного пассажирского порта в другой), описывается формулой

$$N_d = \sum_{i=1}^M C_i \left[\sum_{j=i+1}^{M+1} C_j \right]. \quad (3)$$

Соединение двух последующих погрузочных единиц в соседних портах можно описать экономически или в виде суммарных издержек на перевозку, или в виде общей прибыли по перемещению этой группы пассажиров между двумя портами. Общая прибыль рассчитывается как разница выручки от перевозки и расходов на ее совершение и обозначается $d_{i,j}(C_i, C_j)$. Таким образом, из всех соединений погрузочных единиц можно составить один большой граф и решить задачу маршрутизации и погрузки с помощью алгоритмов поиска наименьшего пути в графе (рис. 2).

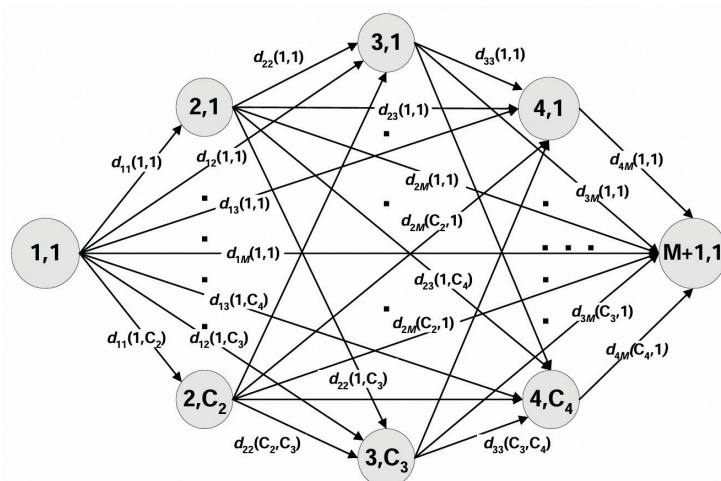


Рис. 2. Задача маршрутизации морских паромных перевозок
в виде графа для решения методами поиска кратчайшего пути
Fig. 2. Sea Ferry Routing Problem Represented as a Graph for Shortest-Path Methods

В ходе исследований была разработана имитационная модель приема паромов в морском пассажирском порту. Модель, реализованная на основе теории массового обслуживания с приоритетами, способна принимать одновременно паромные линии и круизные суда, ее подробное описание приведено в работах [1, 9–11]. Поскольку на рассматриваемых далее паромных линиях работают только грузопассажирские паромы, требующие специально оборудованных аппарелями причалов, а среди круизных судов, рассмотренных в исследовании [12], только пассажирские суда, круизные (пассажирские) причалы в портах в работе рассматриваться не будут. С помощью данной модели можно определить загрузку причалов и группы связанных морских пассажирских портов, в регионе моря.

Результаты (Results)

В ходе исследования был рассмотрен модельный пример, в котором показана необходимость осуществления международных морских паромных перевозок в морском пассажирском порту Санкт-Петербург (АО «Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад»), и, соответственно, необходимость восстановления паромного сообщения. Прогноз пассажирооборота морских паромных сообщений оценивался в 2019 г. в Санкт-Петербурге [13] в 1,1 млн пассажиров.

Учитывая существующую в мире паромных перевозок тенденцию к возвращению общего пассажирооборота в 2026–2027 гг. к показателям 2019 г. [14], можно считать прогнозируемую ранее цифру актуальной в случае возвращения Санкт-Петербурга на рынок паромных перевозок. Граф существующих наиболее популярных с включением Санкт-Петербурга паромных линий региона Финского залива с указанием расстояний представлен на рис. 3.

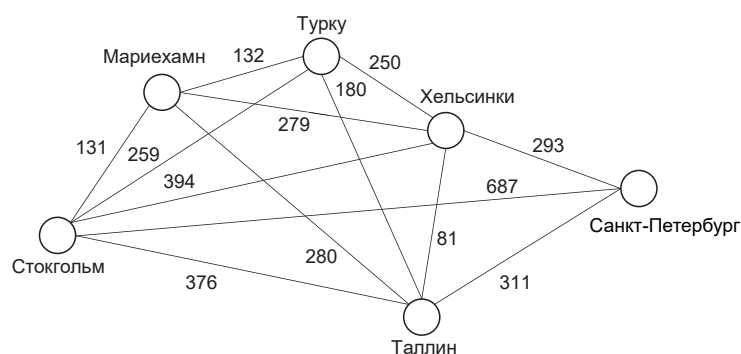


Рис. 3. Граф морских паромных линий Финского залива и близлежащего района Балтийского моря
Fig. 3. Graph of Sea Ferry Routes in the Gulf of Finland and the Adjacent Baltic Sea Area

С помощью рассмотренного алгоритма решения задачи маршрутизации с использованием теории графов был определен допустимый маршрут движения парома в регионе: Санкт-Петербург – Хельсинки – Стокгольм – Таллинн – Санкт-Петербург. Данный маршрут до 2020 г. выполнялся морским паромным судном Princess Anastasia. Архивное расписание парома, представленное в табл. 1, дает информацию о длительности маршрута по времени, которое составляет три дня, для дальнейшего моделирования.

Таблица 1

Архивное расписание парома SPL Princess Anastasia

Table 1

Archived Schedule of the SPL Princess Anastasia Ferry

Направление	Отправление	Прибытие
Санкт-Петербург – Хельсинки	19:00	8:00
Хельсинки – Стокгольм	16:00	8:00
Стокгольм – Таллинн	18:00	11:30
Таллинн – Санкт-Петербург	19:00	9:30

В ходе исследования были проведены серии экспериментов над моделью выделенного региона Балтийского моря для различных сценариев по каждому из участвующих в маршруте морских пассажирских портов. Разработанный модуль «паромные линии региона моря» отображает движение паромов на линиях, полученных с помощью представления графа рис. 3 в среде моделирования (рис. 4).

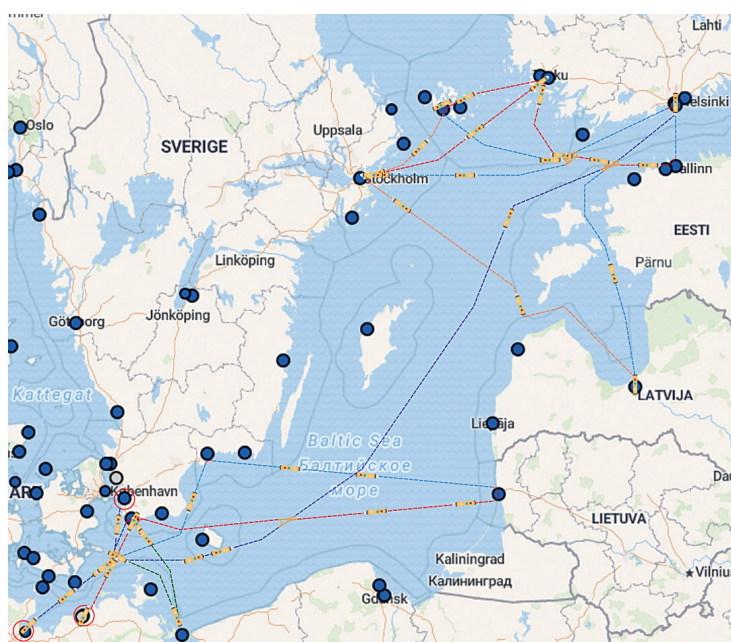


Рис. 4. Оконная форма графа морских паромных линий Финского залива и близлежащего района Балтийского моря в среде моделирования Anylogic [15]

Fig. 4. Window View of the Sea Ferry Route Graph for the Gulf of Finland and the Adjacent Baltic Sea Area in the AnyLogic Simulation Environment

Разработанный новый программный модуль приема потока паромных и круизных судов в портах поддерживает прием не только паромов, но и круизных судов. В рамках данного исследования будет проводиться моделирование только потока паромных судов и инфраструктуры портов для его обслуживания (рис. 5).

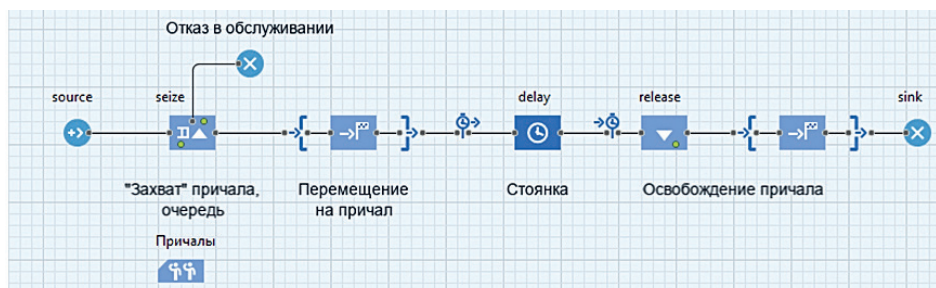


Рис. 5. Схема дискретно-событийного модуля приема судна в порту
Fig. 5. Diagram of the Discrete-Event Module for Vessel Arrival Handling at a Port

Рассмотрим формируемые новые сценарии работы морских пассажирских портов (рис. 6). В первом сценарии моделирование осуществлялось на основе реальных данных о месячной интенсивности заходов паромов в выбранные для исследования порты Балтийского моря. Второй сценарий показывает изменение в работе портов при введении одного парома на предлагаемую линию, третий рассматривает изменения при введении трех паромов на линию для обеспечения ежедневного движения. По полученным экспериментальным данным можно судить о возможности морских пассажирских портов по приему судов на предлагаемой линии.



Рис. 6. Пример оконной формы модели причалов
на основе данных об инфраструктуре портов г. Хельсинки
Fig. 6. Example of the Berth Model Window Based on Helsinki Port Infrastructure Data

Во всех четырех городах (выбранных портах) причалы для приема паромных судов расположены на нескольких терминалах в разных частях города. Как правило, это исторические морские вокзалы и современные специализированные пассажирские терминалы. Причалы имеют различную допустимую длину и осадку принимаемого судна, что можно отразить средствами моделирования, но в данном исследовании дифференциация размеров паромов не применяется (табл. 2).

Таблица 2

Количество причалов для приема паромных судов

Table 2

Number of Berths for Ferry Vessels

Город	Количество причалов
Санкт-Петербург	3
Хельсинки	11
Стокгольм	6
Таллинн	9

Расписание паромных линий известно и находится в открытых источниках. При запуске одного парома на маршрут паром будет заходить в порты раз в три дня, т. е. 2,33 раза в неделю или 10 раз в месяц. При запуске ежедневного движения интенсивность движения составит семь судозаходов в неделю и 30 судозаходов в месяц (табл. 3).

Таблица 3

Количество заходов паромных судов в порты

Table 3

Number of Ferry Vessel Calls at Ports

Город	Количество судозаходов за неделю	Количество судозаходов за месяц
Санкт-Петербург	0	0
Хельсинки	114	505
Стокгольм	75	332
Таллинн	91	403

По результатам моделирования формируются данные и производится оценка загрузки причалов портов на рассматриваемом маршруте (табл. 4–6).

Таблица 4

Результаты моделирования при существующих условиях

Table 4

Simulation Results under Existing Conditions

Город	Санкт-Петербург	Хельсинки	Стокгольм	Таллинн
Месячная интенсивность паромного движения	0	505	332	403
Коэффициент загрузки причалов	0	0,273	0,388	0,275
Среднее число занятых причалов	0	3	1,98	2,5
Очередь (средняя)	0	0	0	0

Таблица 5

Результаты моделирования при выводе одного парома на линию

Table 5

Simulation Results with One Ferry Introduced on the Route

Город	Санкт-Петербург	Хельсинки	Стокгольм	Таллинн
Месячная интенсивность паромного движения	10	515	342	413
Коэффициент загрузки причалов	0,0273	0,286	0,422	0,286
Среднее число занятых причалов	0,083	3,153	2,105	2,58
Очередь (средняя)	0	0	0,025	0

Таблица 6

Результаты моделирования при вводе ежедневного паромного сообщения

Table 6

Simulation Results with Daily Ferry Service Introduced

Город	Санкт-Петербург	Хельсинки	Стокгольм	Таллинн
Месячная интенсивность паромного движения	30	535	362	433
Коэффициент загрузки причалов	0,062	0,3	0,457	0,298
Среднее число занятых причалов	0,19	3,307	2,27	2,68
Очередь (средняя)	0	0	0,035	0

Распределение количества занятых причалов в портах на основе прогона имитационной модели приведено в табл. 7.

Таблица 7

Распределение количества занятых причалов в портах при существующих условиях

Table 7

Distribution of the Number of Occupied Berths at Ports under Existing Conditions

Город	Распределение загрузки
Хельсинки	
Стокгольм	
Таллинн	

Из полученных результатов видно, что наиболее нагруженными являются причалы города Стокгольм, загрузка которых стремится к 40 %, когда необходимо формирование дополнительной модели и создание нового подхода к формированию расписания для отсутствия пересечений, которые могут привести к образованию кратковременных очередей, когда пришедшему судну не нашлось места в очереди на причал.

Модель доказала свою применимость, а повышение точности выходных данных возможно за счет снижения доли условностей при введении большего количества реальных данных. Полученные итоговые коэффициенты загрузки причалов приведены на рис. 7.

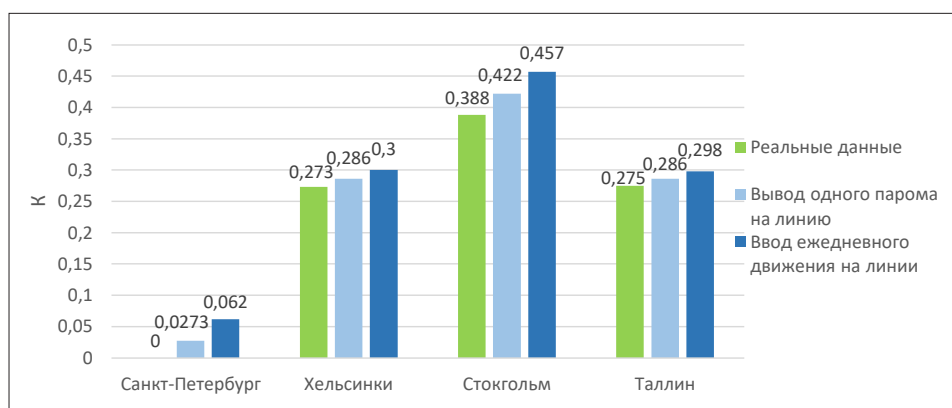


Рис. 7. Коэффициенты загрузки паромных причалов пассажирских портов региона Финского залива при реальном движении и при введении новой теоретической паромной линии

Fig. 7. Ferry Berth Occupancy Ratios at Passenger Ports in the Gulf of Finland Region under Actual Traffic Conditions and after the Introduction of a New Hypothetical Ferry Line

На основе полученных результатов можно сделать вывод о возможностях пассажирских портов по приему разрабатываемого (прогнозируемого к вводу) нового маршрута и судить о загрузке причалов системы морских пассажирских портов в регионе моря.

Обсуждение (Discussion)

Модель выбора маршрута морского парома (см. рис. 1) и разработанная имитационная модель позволяют моделировать различные сценарии маршрутов с различными морскими пассажирскими портами. В данной работе описаны два сценария: прием только по расписанию и прием случайных паромных судов вместе с имеющимся расписанием заходов паромов. Однако возможности разработанного имитационного программного инструментария не ограничиваются только данной задачей. С его помощью можно выполнять следующие действия:

- рассматривать увеличение или уменьшение интенсивности случайного потока паромных судов;
- подключить движение круизных судов и внести специализацию причалов в порту;
- рассматривать изменение инфраструктуры порта: увеличение длины причального фронта или строительство новых причалов для крупных круизных судов;
- рассматривать другие временные промежутки, например, весь период навигации.

Результаты всех модельных экспериментов выводятся на экран в виде наглядных гистограмм и графиков. Трех- и двухмерная визуализации позволяют визуальнo контролировать процесс захода судов для поиска проблемных ситуаций.

В ходе исследования с использованием программного комплекса было выявлено, что изменения или даже некоторое необходимое восстановление паромного маршрута Санкт-Петербург – Хельсинки – Стокгольм – Таллинн возможно и не создаст проблем в портах как при выводе одного парома, следующего раз в три дня, так и трех паромов, следующих ежедневно.

Активное влияние внешней среды, а также региональных, экономических и политических факторов, трендов в сфере паромных перевозок и стремительный рост пассажиропотока формирует необходимость учета новых переменных, трансформирования принятия решений при неопределенности, что требует дальнейшего развития разработанной имитационной модели, отражающей взаимодействие систем «морская паромная линия – морской пассажирский порт», и ее распространения на другие морские пассажирские порты Балтийского моря. Работа имитационной

модели показала, что лицу, принимающему решение по оценке работы морского пассажирского порта, недостаточно только наличия данных за навигацию, необходимо дополнительное использование цифровых двойников для выполнения многосценарного моделирования и формирования набора больших данных.

Выводы (Summary)

В результате проведенного исследования выполнено следующее:

1. Разработана новая имитационная модель с модулями интеграции баз данных для оценки пропускной способности морского пассажирского порта, принимающего в модельных сценариях как круизные суда, так и паромные линии.

2. Представлен метод прогнозирования, формирования нового маршрута паромной линии с помощью теории графов с одновременным формированием исходных данных для многокритериального моделирования.

3. Представленные результаты исследования различных сценариев входного потока круизных судов четырех морских пассажирских портов Балтийского региона выявили достаточность данных для последующей работы лиц, принимающих решения по прогнозированию введения новой паромной линии и оценке влияния морских портов друг на друга.

4. На основе анализа результатов многосценарного моделирования установлено, что разработанный модуль может быть успешно использован для моделирования загрузки причалов группы пассажирских портов в регионе моря. Модель может быть масштабирована на большее число портов, формируя дополнительный контур к использованию круговых диаграмм интенсивностей Circos [15].

5. Проведен инфраструктурный анализ и интенсивности движения паромов в портах городов Хельсинки, Стокгольм и Таллинн для формирования базы данных вариантов при многосценарном моделировании и формирования условий для вводных данных для имитационной модели.

6. Сформированные данные (см. табл. 4–7) распределения количества занятых причалов позволяют оценивать различные варианты работы одновременно группы морских пассажирских портов и определять положение выбранного порта в регионе моря для принятия решений о формировании новой паромной линии.

7. Разработанная имитационная модель для морских пассажирских портов позволяет увеличить возможности существующих моделей и методов по оценке загруженности причалов, при снижении времени на моделирование. Несмотря на некоторые теоретические условности во входных данных инфраструктуры пассажирского порта, путем перехода к модели «условного порта» точность получаемых данных получилась на высоком уровне. Эффективность моделирования морского пассажирского порта для лица, принимающего решение, и руководителя морского пассажирского порта позволяет добиться высокой скорости получения данных многосценарного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krile S. Application of the minimum cost flow problem in container shipping. / S. Krile // *Electronics in Marine*, 2004. Proceedings Elmar 2004. 46th International Symposium. — 2004. — Pp. 466–471. — DOI: 10.1109/ELMAR.2004.1356421.
2. Майоров Н. Н. Методологический базис организации сети морских пассажирских перевозок / Н. Н. Майоров // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. — 2018. — № 2. — С. 28–37. — EDN XFPUDS. — DOI: 10.24143/2073-1574-2018-2-28-37.
3. Ćorluka G. Cruise Port Passenger Flow Analysis: a Cruise Port Governance Perspective / G. Ćorluka, I. Peronja, D. Tubić // *Naše more*. — 2020. — Vol. 67. — Is. 3. — Pp. 181–191. — DOI: 10.17818/nm/2020/3.1.
4. Язвенко М. Р. Универсальная имитационная модель потока поступления круизных и паромных судов в морской пассажирский порт / М. Р. Язвенко // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2025. — Т. 17. — № 3. — С. 350–364. — EDN FKUCBB. — DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-350-364.

5. Krile S. The influence of external environment to the ferry lines and marine passenger terminals / S. Krile, N. Maiorov // *Transport Problems*. — 2020. — Vol. 15 — Is. 4 — Part 2. — Pp. 203–214. — EDN PTKXFL. — DOI: 10.21307/TP-2020-060.
6. Dorigatti J. Cruise Industry Trends and Cruise Ships' Navigational Practices in the Central and South Part of the Adriatic East Coast Affecting Navigational Safety and Sustainable Development / J. Dorigatti, T. Perić, G. J. Mrčelić // *Applied Sciences*. — 2022. — Vol. 12. — Is. 14. — DOI: 10.3390/app12146884.
7. London W. R. Power in the context of cruise destination stakeholders' interrelationships / W. R. London, G. Lohmann // *Research in Transportation Business & Management*. — 2014. — Vol. 13. — Pp. 24–35. — DOI: 10.1016/j.rtbm.2014.11.004.
8. Dorigatti J. Cruise Industry Trends and Cruise Ships' Navigational Practices in the Central and South Part of the Adriatic East Coast Affecting Navigational Safety and Sustainable Development / J. Dorigatti, T. Perić, G. J. Mrčelić // *Applied Sciences*. — 2022. — Vol. 12. — Is. 14. — DOI: 10.3390/app12146884.
9. Язвенко М. Р. Исследование загруженности причалов морского пассажирского порта на основе моделирования / М. Р. Язвенко // *Системный анализ и логистика*. — 2021. — № 2(28). — С. 104–113. — EDN EJHUOQ. — DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-104-113.
10. Майоров Н. Н. Исследование и разработка информационно-измерительной системы для многоприоритетных потоков / Н. Н. Майоров, М. Р. Язвенко // *Метрологическое обеспечение инновационных технологий : Сборник статей VII Международного форума, Санкт-Петербург, 04 марта 2025 года*. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2025. — С. 204–205. — EDN KZZHLW.
11. Maiorov N. N. Research and Development of an Algorithm for Multi-Priority Flows in Transportation Systems / N. N. Maiorov, M. R. Yazvenko // *2024 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF) – 2024*. — С. 1–4. — DOI: 10.1109/WECONF61770.2024.10564652.
12. Майоров Н. Н. Исследование загруженности причалов морского пассажирского порта на основе имитационной модели с учетом региональных особенностей и стохастического влияния внешней среды / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, М. Р. Язвенко // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова*. — 2025. — Т. 17, № 6. — С. 801–815. — EDN CFLCLU. — DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-6-801-815.
13. Майоров Н. Н. Развитие морских паромных перевозок в балтийском море в контексте глобальных тенденций // *Системный анализ и логистика: журнал: выпуск № 1 (23), ISSN 2007-5687*. — СПб.: ГУАП., 2020 — С. 65–73. — EDN WGCRTK.
14. Eurostat. Maritime passenger statistics 2025 | Statistics Explained. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Maritime_passenger_statistics (дата обращения: 01.12.2025).
15. Оптимизационный эксперимент в AnyLogic [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://anylogic.help/ru/anylogic/experiments/optimization-experiment.html> (дата обращения: 01.05.2026).
16. Maiorov N. N. Research of the transport terminal position based on the analysis of the digital circons model / N. N. Maiorov // *2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2021 – Conference Proceedings, Saint-Petersburg, 31 May – 04 2021*. Vol. [4]. — Saint-Petersburg, 2021. — P. 9470582. — EDN SUSNBL. — DOI: 10.1109/WECONF51603.2021.9470582.

REFERENCES

1. Krile, S. "Application of the minimum cost flow problem in container shipping." *Proceedings. Elmar-2004. 46th International Symposium on Electronics in Marine*. IEEE, 2004: 466–471. DOI: 10.1109/ELMAR.2004.1356421.
2. Mayorov, N. N. "Methodological principles of the organization of the marine passenger transport network." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies* 2 (2018): 28–37. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-2-28-37.
3. Ćorluka, G., I. Peronja and D. Tubić. "Cruise Port Passenger Flow Analysis: a Cruise Port Governance Perspective." *Nase More* 67.3 (2020): 181–191. DOI: 10.17818/nm/2020/3.1.
4. Yazvenko, M. R. "Universal simulation model of cruise and ferry ships flow to a sea passenger port." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 17.3 (2025): 350–364. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-350-364.

5. Krile, S. and N. Maiorov. "Krile, S. The influence of external environment to the ferry lines and marine passenger terminals ." *Transport Problems* 15.1 (2020): 203–214. DOI: 10.21307/TP-2020-060.
6. Dorigatti, J., T. Perić and G. J. Mrčelić. "Cruise Industry Trends and Cruise Ships' Navigational Practices in the Central and South Part of the Adriatic East Coast Affecting Navigational Safety and Sustainable Development." *Applied Sciences* 12.14 (2022). DOI: 10.3390/app12146884.
7. London, W. R. and G. Lohmann. "Power in the context of cruise destination stakeholders' interrelationships." *Research in Transportation Business & Management* 13 (2014): 24–35. DOI: 10.1016/j.rtbm.2014.11.004.
8. Dorigatti, J., T. Perić and G. J. Mrčelić. "Cruise Industry Trends and Cruise Ships' Navigational Practices in the Central and South Part of the Adriatic East Coast Affecting Navigational Safety and Sustainable Development." *Applied Sciences* 12.14 (2022). DOI: 10.3390/app12146884.
9. Yazvenko, M. R. "Research of berths utilization at sea passenger port on the basis of modeling." *System Analysis and Logistics* 2(28) (2021): 104–113. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-2-104-113.
10. Mayorov, N. N. and M. R. Yazvenko . "Research and development of an information modification system for multi-priority streams." *Metrologicheskoe obespechenie innovatsionnykh tekhnologiy : Sbornik statey VII Mezhdunarodnogo foruma, Sankt-Peterburg, 04 marta 2025 goda* Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet aerokosmicheskogo priborostroeniya, 2025: 204–205.
11. Maiorov, N. N. and M. R. Yazvenko. "Research and Development of an Algorithm for Multi-Priority Flows in Transportation Systems." *2024 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF) – .* 2024: 1–4. DOI: 10.1109/WECONF61770.2024.10564652.
12. Mayorov, N. N., V. A. Fetisov and M. R. Yazvenko. "Research of berth occupancy at a sea passenger port based on a simulation model accounting for regional features and stochastic external influences." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 17.6 (2025): 801–815. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-6-801-815.
13. Mayorov, N. N. "Development of marine ferry transportation in the baltic sea in the context of global trends." *System Analysis and Logistics* 1(23) (2020): 65–73.
14. Eurostat. Maritime passenger statistics 2025 | Statistics Explained. Web. 1 december 2025 < <https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained>>
15. Optimizatsionnyy eksperiment v AnyLogic. Web. 1 May 2026 <<https://anylogic.help/ru/anylogic/experiments/optimization-experiment.html>>.
16. Maiorov, N. N. "Research of the Transport Terminal Position Based on the Analysis of the Digital Circos Model." *2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF).* 2021: 1–4. DOI: 10.1109/WECONF51603.2021.9470582.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Майоров Николай Николаевич —
доктор технических наук, профессор
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»
190000, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская 67, лит. А
e-mail: nmsoft@yandex.ru
Язвенко Максим Романович —
аспирант
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет
аэрокосмического приборостроения»
190000, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, д. 67, лит. А
e-mail: YazvenkoM@guap.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Maierov, Nikolai N. —
Doctor of Technical Sciences, Professor
Saint-Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation
67/A, Bol'shaya Morskaya Str.,
St. Petersburg,
190000, Russian Federation
e-mail: nmsoft@yandex.ru
Yazvenko, Maksim R. —
Postgraduate Student
Saint-Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation
67/A, Bolshaya Morskaya str.,
Saint-Petersburg,
190000, Russian Federation
e-mail: YazvenkoM@guap.ru

Статья поступила в редакцию: 17 мая 2026 г.
Received: May 17, 2026.