

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-7-16

## PLANNING THE ROUTE NETWORKS OF MARINE CRUISES AND FERRY LINES TAKING INTO ACCOUNT THE PASSENGER FLOW DYNAMICS

**N. N. Maiorov**

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

*An assessment of the maritime ferry market for the Baltic Sea region is carried out on the basis of a group of carrier companies and statistics for 2019. To assess the impact of sea passenger ports on each other, the pie charts are used. This research is carried out on the basis of the Princess Anastasia ferry ship and cruises using St. Petersburg port as a start and end point. Based on the research, it is established that there is a trend to increase the passenger traffic in this region and increase the size of cruise and ferry vessels. At the same time, it is found, that a trend of decreasing the cruise ships is observed, but their sizes are significantly increasing, which requires the modernization of passenger port infrastructure and investments in it. Based on the research, the assessment of constraints in the development of new route lines in the Baltic Sea region is given. To solve the route estimation problem, a mathematical model and an objective function that seeks to minimize possible costs are presented. Solving this problem requires observing a large number of boundary conditions, which in practice leads to a simplification of this objective function and finding only some boundary solutions. On the other hand, although this model has the accuracy of the process description, it does not allow taking into account the dynamics of passenger flows. To eliminate this circumstance, the maximum flow problem is stated and a new model for choosing a ferry transport network between different marine passenger ports is presented. The developed model takes into account the interests of passengers traveling on their own vehicles. It is established that the results of using the model can be used to build a methodological basis for the route ferry network for the selected region of the sea. The results of when building model should be used to evaluate the effectiveness of the systems «sea ferry line - passenger sea port - urban transport space near the terminal» and projected new ring ferry routes.*

*Keywords: marine passenger terminal, planning, sea ferry services, objective function, intensity pie charts, Baltic Sea.*

### For citation:

Maiorov, Nikolai N. "Planning the route networks of marine cruises and ferry lines taking into account the passenger flow dynamics." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 12.1 (2020): 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-7-16.

**УДК 65.012.1; 656.072**

## ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТНЫХ СЕТЕЙ МОРСКИХ КРУИЗНЫХ И ПАРОМНЫХ ЛИНИЙ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ ПАССАЖИРОПОТОКА

**Н. Н. Майоров**

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

*Выполнена оценка рынка морских паромных перевозок для региона Балтийского моря на основе группы компаний перевозчиков и статистических данных за 2019 год. Для оценки влияния морских пассажирских портов друг на друга предложено использование круговых диаграмм связей и выполнено построение соответствующего графика. Проведено исследование на основе паромного судна «Принцесса Анастасия»*

и круизов, использующих в качестве начального и конечного пункта порт Санкт-Петербург. На основании проведенного исследования установлено сохранение тренда на увеличение пассажиропотока в данном регионе и размеров круизных и паромных судов. При этом установлено, что при незначительном уменьшении круизных судов, их размеры существенно увеличиваются, что требует модернизации портовой инфраструктуры и инвестиций. На основании проведенного исследования выполнена оценка сдерживающих факторов в развитии новых маршрутных линий в регионе Балтийского моря. Для решения задачи оценки маршрута приводятся математическая модель и целевая функция, стремящиеся минимизировать возможные издержки. Реализация данной задачи требует соблюдения большого количества граничных условий, что на практике приводит к упрощению данной целевой функции и нахождению лишь некоторых граничных решений. Отмечается, что несмотря на то, что данная модель обладает точностью описания процесса, она не позволяет учитывать динамику пассажиропотоков. Для исключения данного обстоятельства приводится постановка задачи о максимальном потоке и новая модель выбора паромной транспортной сети между различными пассажирскими портами. Разработанная модель учитывает интересы пассажиров, путешествующих на собственных транспортных средствах. Установлено, что результаты использования модели можно применять при построении методологического базиса маршрутной паромной сети для выбранного региона моря. Результаты работы модели планирования необходимо использовать для оценки эффективности работы систем «морская паромная линия – морской пассажирский порт – околотерминальное городское транспортное пространство» и проектирования новых кольцевых паромных маршрутов.

*Ключевые слова:* морской пассажирский терминал, планирование, морские паромные перевозки, целевая функция, круговые диаграммы связей интенсивностей, Балтийское море.

**Для цитирования:**

Майоров Н. Н. Планирование маршрутных сетей морских круизных и паромных линий с учетом динамики изменений пассажиропотока / Н. Н. Майоров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-7-16.

## **Введение (Introduction)**

Исторически сложилось, что спрос на морские паромные и круизные перевозки распределен между четырьмя основными регионами судоходства: Карибский бассейн, Средиземноморье, Азия и регион Балтийского моря. Балтийское море является особым регионом, так как, с одной стороны, это территория активного развития морского транспорта, объединяющая более 200 портов и терминалов, с другой — это крупная морская сеть, в которой между заявленными портами курсируют более 2000 судов. Балтийское море является особым регионом — важным элементом глобальной транспортной системы, обеспечивающим движение грузов и пассажиров с сопутствующим грузом между крупными портами и терминалами. Ввиду близости культурно-исторических центров различных стран и имеющейся сети паромных линий, в регионе Балтийского моря в большой степени развита мобильность пассажиров, путешествующих на собственных машинах. Кроме того, в течение последних пяти лет наблюдается тенденция значительного увеличения круизных лайнеров и пассажиропотока туристов. К странам Балтийского моря относятся: Дания, Швеция, Финляндия, Россия, Эстония, Латвия, Литва, Польша и Германия. Портовые и терминальные комплексы этих стран, расположенные на побережье Балтийского моря, образуют крупную морскую транспортную сеть.

Развитие морского транспорта в регионе Балтийского моря характеризуется увеличением объемов пассажирских перевозок и использованием более крупных круизных судов. В частности, по портам и терминалам после 2016 г. наблюдается значительное увеличение заходов больших круизных судов. К примеру, в течение навигации 2019 г. морской пассажирский порт «Морской фасад» принял 265 лайнеров [1], [2]. Количество пассажирских судов в течение последнего периода времени возросло незначительно в отличие от их размеров, которые существенно увеличились. При этом наблюдается значительный рост пассажиропотока. Все это свидетельствует о том, что возможное изменение количества стандартных лайнеров компенсируется увеличением их размеров. В этой связи пассажирским портом «Морской фасад» был разработан ряд проектов строительства выносных палов (увеличение длины причалов), что позволит одновременно

швартоваться судам длиной 294 и 330 м, а затем 333 м и более. Тем самым, конечно, в морском пассажирском порту произойдет централизация причалов. Данные инвестиции направлены на сохранение лидерских позиций единственного крупного специализированного морского пассажирского порта в регионе Балтики.

Однако близость различных культурных центров притяжения в странах Балтийского моря под воздействием внешней среды и экономики приводит к конкуренции терминалов и портов между собой в рамках одного региона. Известно много факторов, оказывающих влияние на географическую структуру спроса. Одним из них является то, что новые и улучшенные наземные транспортные связи околотерминального пространства со временем создадут условия конкуренции. Это особенно заметно для пассажиров, путешествующих самостоятельно.

Другим фактором является развитие пропускной способности порта и связанных с ним транспортных коридоров, которые могут значительно изменить существующую структуру транспортных потоков даже через соседние страны. Кроме того, прогнозы пассажирских перевозок являются особенно сложными и неопределенными, так как зависят от внешних условий и политической ситуации. Поэтому наиболее характерной является ситуация, в которой, с одной стороны, имеет место разветвленная маршрутная сеть между морскими пассажирскими, что создает дополнительный выбор для пассажиров, а с другой — порты и терминалы наращивают инфраструктуру для привлечения пассажиропотока от других регионов, конкурируя между собой. При исследовании данной ситуации необходимо рассматривать всю систему: «морская паромная / круизная линия – морской пассажирский порт – окотерминальное транспортное пространство».

Только таким образом можно решать задачу как исследования рынка, так и создания новых круизных или паромных маршрутов. Ввиду динамики процессов, использование методов линейного программирования ограничено и ведет к необходимости выполнения расчетов. Поэтому необходима разработка новых методик, которые позволили бы фиксировать взаимодействие морских терминалов в одном регионе и моделей для описания условий формирования новых маршрутов.

### **Методы и материалы (Methods and Materials)**

Рассмотрим исходные данные системы морских паромных линий в регионе Балтийского моря. В настоящее время в регионе Балтийского моря имеется единственный специализированный морской пассажирский порт «Морской фасад». Количество пассажиров круизных и паромных судов в нем составляет 643 289 пассажиров. Помимо порта «Морской фасад» лайнеры принимают также причалы на Английской набережной и набережной Лейтенанта Шмидта. Их общий вклад, согласно источнику [2], составляет примерно 22 000 пассажиров в год. В общую статистику перевезенных пассажиров необходимо включить пассажиропоток Морского вокзала, через который осуществляются регулярные маршруты на пароме «Принцесса Анастасия» (SPL Princess Anastasia) компании St. Peter Line и оператора Moby SPL. Общее количество паромов, представленных в российском сегменте пассажирских и грузопассажирских перевозок, приведено на рис. 1.

Если рассматривать морские грузопассажирские перевозки, то по сравнению с другими странами Балтийского региона, количество паромов, имеющих в качестве порта начала круиза порты Санкт-Петербурга, незначительно. Для сравнения, паромные линии Tallink & Silja Line состоят из шестнадцати судов [3]–[5]. Данные линии соединяют Финляндию, Эстонию, Латвию, Швецию и Аландские острова круглогодично. При этом существует закрепление паромных судов за конкретными направлениями. На линии Хельсинки – Таллин работают паромные суда Silja Europa ferry вместимостью 3100 пассажиров и 400 машиномест и паром Tallink Megastar ferry вместимостью 2800 пассажиров и 150 машиномест. Аналогичным образом два других парома осуществляют регулярные морские перевозки по маршруту Стокгольм – Аландские острова – Таллин

и др. Общее количество пассажиров, которые может перевезти данная компания, соответствует 27 507 пассажиров и 3854 автомобилей.

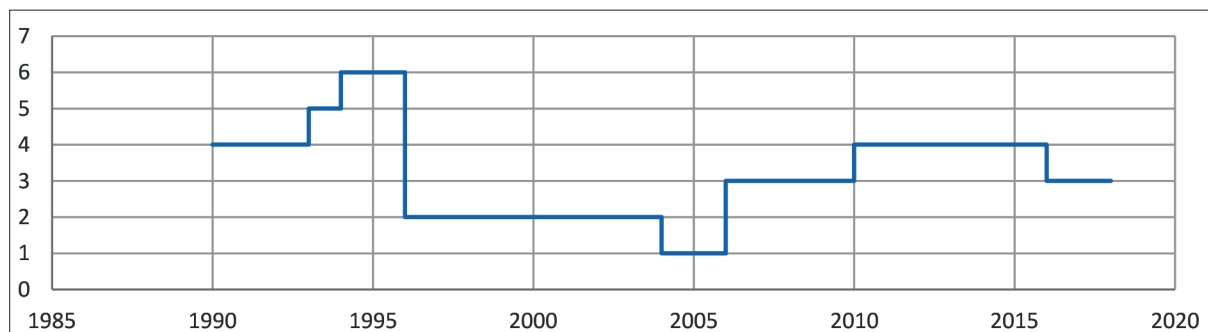


Рис. 1. Динамика изменения численности паромов и пассажирских терминалов с 1980-х гг. по настоящее время

В настоящее время из Санкт-Петербурга регулярные линии выполняет паром «Принцесса Анастасия» вместимостью 2 500 мест (834 каюты) и автомобильная палуба на 580 машин. На основе динамики расписания круизов на 2019 г. следует отметить, что маршрутная сеть состоит из пяти основных портов: Санкт-Петербург (Морской вокзал), Хельсинки, Таллин, Стокгольм, Рига, при этом основные интенсивности разделены на двухдневные и четырехдневные маршруты. В среднем за один месяц 2019 г. паромное судно выполняло 7–10 круговых рейсов, при этом начало и завершение маршрута происходило в порту Санкт-Петербурга. Основная маршрутная месячная сеть показана на рис. 2.

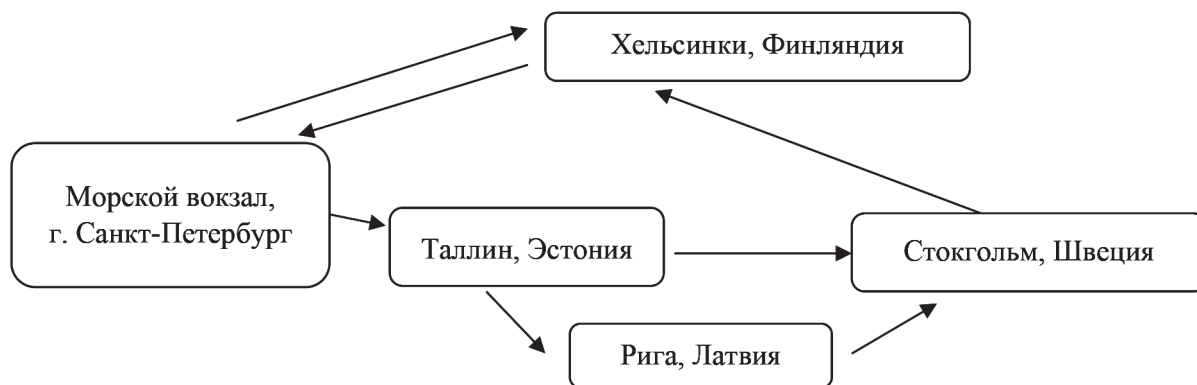


Рис. 2. Маршрутная сеть парома «Принцесса Анастасия» в 2019 г.

Если анализировать интенсивности движения между двумя морскими пассажирскими портами или терминалами, то можно интенсивности работы на участках парома представить на основе круговой диаграммы интенсивности [6] в следующем виде (рис. 3). На основании интенсивности работы морского парома видна сегментированность морских пассажирских перевозок. В современных условиях необходимо увеличивать число паромных судов и стремиться расширить маршрутную сеть. Для привлечения новых пассажиров необходимо, конечно, расширять количество морских портов и терминалов на маршруте. Это дополнительно будет служить стимулом для повторного привлечения туристов на круиз. Для описания маршрутных сетей недостаточно использовать только аналитические модели, так как они ограниченно учитывают динамику процессов. Ввиду наличия динамики процессов, необходимо использовать модели и методы исследования пассажирских потоков в сетях и требуется разработка новых моделей планирования для данных задач.

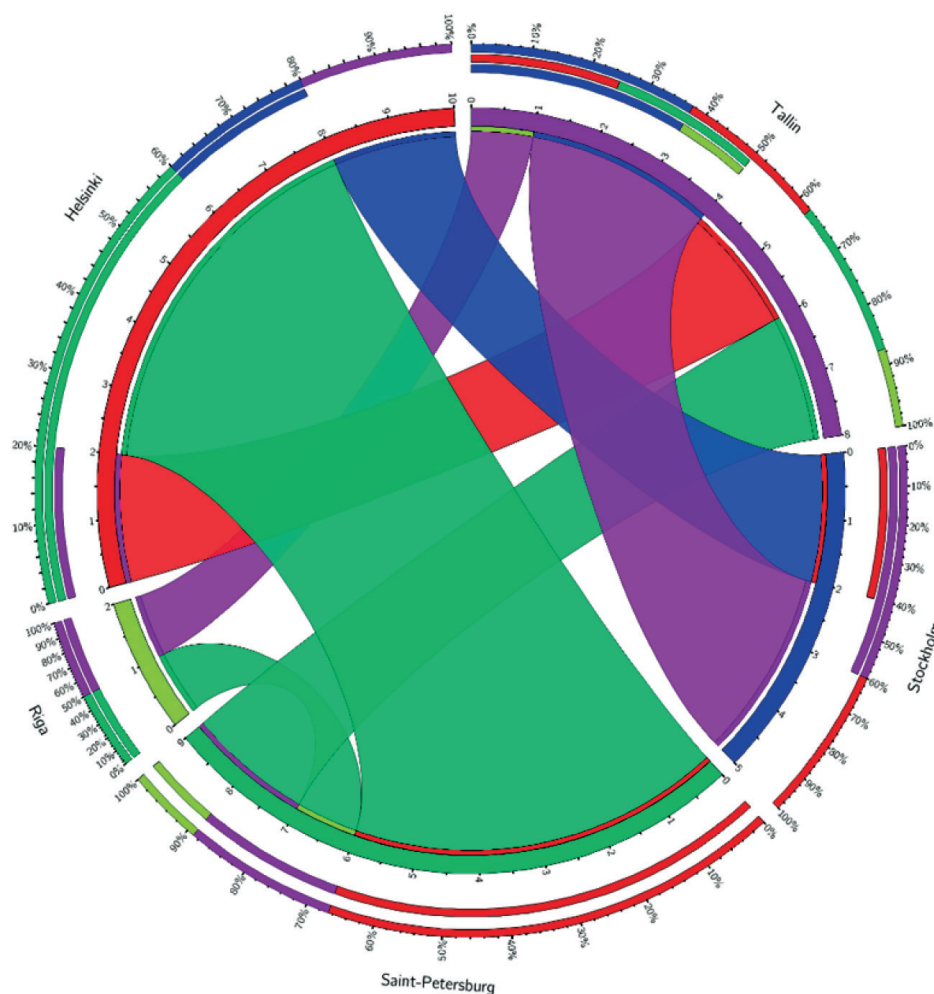


Рис. 3. Интенсивность движения парома «Принцесса Анастасия» между портами и терминалами Балтийского моря в среднем за один месяц 2019 г.

**Модели и методы планирования новых маршрутов в морских паромных сетях.** Примем начальное условие, когда известны порты и терминалы, между которыми будет налажено морское паромное сообщение. Количество различных вариантов загрузки паромного судна может быть определено. Учитывая требования интенсивности трафика при погрузке / разгрузке каждой партии, включая пассажиров или транспортных средств и для каждого порта, следует искать оптимальный план перевозки, который минимизирует затраты на погрузку / разгрузку и ожидание парома в портах для того, чтобы был реализован выгодный маршрут для перевозчика [7]–[10]. Однако на данный момент минимизация издержек не является одним из базовых критериев выбора маршрута через систему портов и терминалов. Базовая линейная модель в данном случае может быть представлена следующим функционалом:

$$\begin{aligned} \min: & \sum_{i \in N^b} \sum_{j \in N \setminus N^b} Y_{ij} cf + \sum_{i, j \in S} Y_{ij} c_{ij} + \sum_d \sum_{i, j \in (W_d, O_d)} x_{dij} \omega \cup \beta + \\ & + \sum_d \left( \sum_{i, j \in S} X_{dij} t_{ij} - X_{dij} t_d \right) tv - \sum_d \sum_{i, j \in D_d} X_{dij} rev; \\ & \sum_{i \in N^b} \sum_{j \in N \setminus N^b} Y_{ij} \leq f; \sum_d X_{dij} \leq Y_{ij} \cdot C; 0 \leq X_{dij} \leq u_{ij}; 0 \leq X_{dij} \leq u_{dij}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $cf$  — фиксированные затраты за фрахт парома в день;  $c_{ij}$  — затраты на организацию поездки между портами  $i$  и  $j$ ;  $f$  — максимальное количество паромов;  $dji$  — пассажирский спрос пары

отправления-назначения между портами;  $C$  — вместимость паромов;  $t_{ij}$  — время в пути между портами  $i$  и  $j$ ;  $t_d$  — время в пути отправления пункта назначения  $d$  для прямого маршрута;  $\beta$  — время прохождения между двумя последовательными дугами обслуживания;  $rev$  — выручка для исходной пары назначения  $d$ ;  $d$  — набор пар портов отправления и назначения;  $D_d$  — дуги назначения пассажирской сети;  $\omega$  — значение времени ожидания;  $tv$  — время поездки на пароме;  $u_{ij}$  — верхняя граница потока паромов на дуге, соединяющей порты;  $u_{dij}$  — верхняя граница потока пассажиров на дуге, соединяющей гавани;  $X_{dij}$  — пассажирский поток в пространственно-временной сети отправления между парой портов;  $Y_{ij}$  — паромный поток в морской транспортной сети;  $S$  — набор дуг (связей) для паромной и пассажирской сети;  $O_d$  — дуги маршрутной сети;  $W_d$  — комплект дуг, отражающих задержки  $m$  ожидания для паромной и пассажирской сети;  $N^b$  — набор портов (узлов) в начале и в конце планирования интервала.

Граничные условия данной модели можно представить в следующем виде:

1. Выполняется требование сохранения пассажиропотока.
2. Выполняются ограничения, которые указывают, в какие узлы заходят пассажиры или как они покидают паром.
3. Ограничения суммируют все пассажирские потоки с тем, чтобы установить, что они не превышают пропускную способность самого паромов.
4. Ограничения также формируют верхнюю и нижнюю границы для всех пассажиров и паромов между портами  $i$  и  $j$  соответственно.

Одной из слабых мест данной модели является отсутствие переменных, учитывающих изменения в маршрутных сетях. Данная модель, которая применима только на небольшом отрезке времени в качестве интервала планирования, требует однозначного соответствия спроса пассажиров имеющемуся количеству паромов. В ряде случаев порт назначения и итоговый порт могут различаться. Если рассмотреть сеть, состоящую из  $N$  пассажирских портов и возможных маршрутов (дуг)  $A_{ij}$ , связывающих  $N_i$  и  $N_j$ , то каждому узлу сети  $N_i$  поставлена в соответствие его пропускная способность  $w_i$  (максимальное количество пассажиропотока или количества паромов, которое необходимо пропустить через узел (порт)). Пусть  $x_{ij}$  — поток по дуге  $A_{ij}$  из узла  $N_i$  и  $N_j$  равен  $\sum x_{ij}$ . Тогда задача о максимальном потоке в сети с ограничениями на пропускные способности узлов (портов) формируется при условии максимизирования  $v$ :

$$\sum_j x_{ij} - \sum_k x_{jk} = \begin{cases} -v, j = s; \\ 0, j \neq s, t; \\ v, j = t; \end{cases} \quad (2)$$

$$x_{ij} \geq 0, 0 \leq x_j \leq w_j; \sum_i x_{ij} = x_j.$$

Тогда используя модели (1) и (2) с учетом динамики пассажиропотока, можно представить на основе рис. 4 задачу принятия решения по выбору или планированию маршрута. Согласно работам [11]–[14], варианты маршрутов могут быть представлены блок-схемой ориентированной ациклической сети (см. рис. 3).

На рис. 4 приняты следующие условные обозначения:  $I, j$  — индексы загрузки судна;  $1, 2, \dots, M$  — варианты портов на маршруте;  $X_{1,m}$  — количество пассажиров, следующих на судно или покидающих судно в порту  $M$ ;  $L_{i,m}$  — ограничения для порта;  $I_{1,n}$  — количество пассажиров при прибытии в порт (в начальный момент на судне нет пассажиров и  $I_{1,n} = 0$ ; в последней точке все пассажиры покидают судно и аналогично  $I_{n,m} = 0$ ).

Математическая модель (1) позволяет сформировать задачу минимизации издержек и простоев в паромной сети, но данная модель не позволяет учитывать динамику процессов. На рис. 4 представлена модель задачи выбора маршрутной сети, которая учитывает динамику изменения, позволяя на этапе планирования сформировать наиболее выгодную маршрутную сеть. В статье [15] рассмотрен методологический базис маршрутных сетей, который при совмещении модели, пред-

ставленной на рис. 3, позволяет паромной компании обоснованно планировать и формировать маршрутную сеть на период навигации.

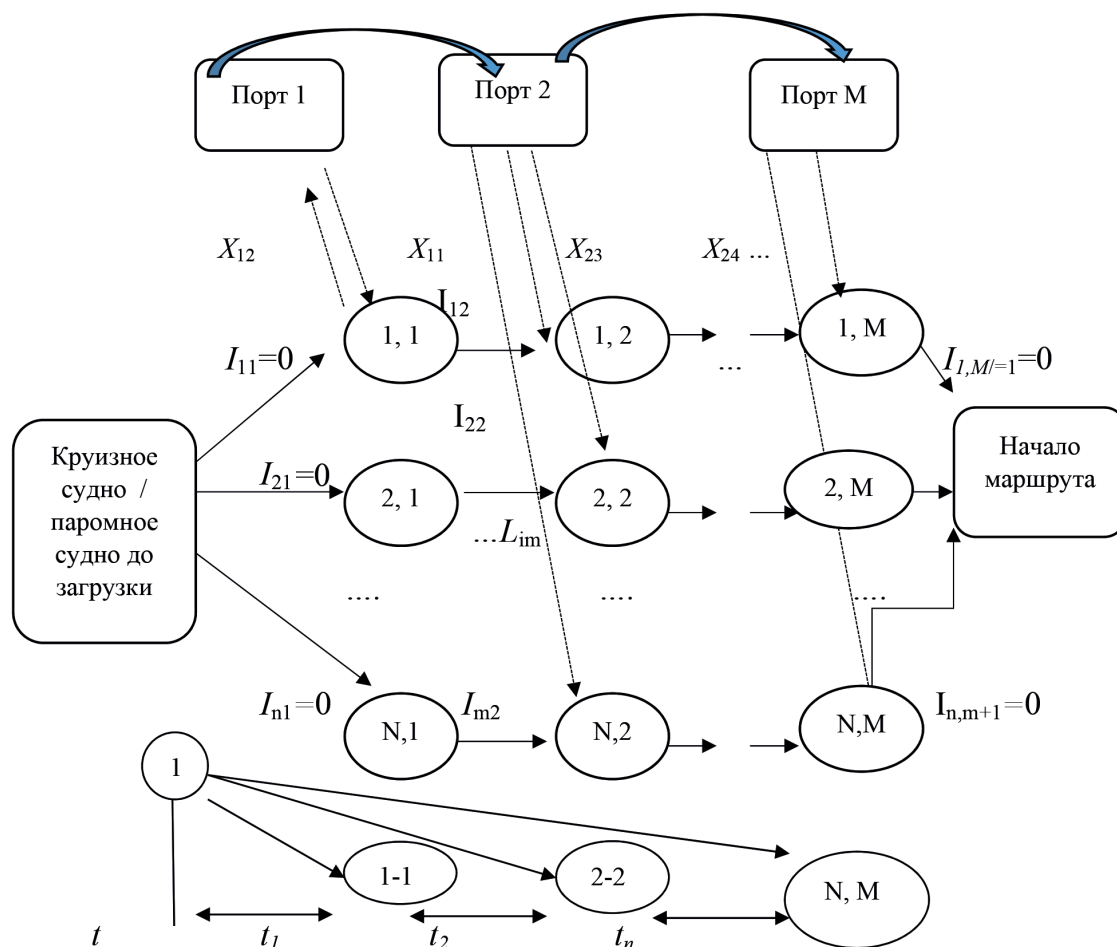


Рис. 4. Представление модели выбора паромной транспортной сети между различными портами в регионе моря

Порты и терминалы являются точками концентрации пассажиропотоков, причем специально введен учет в модели динамики пассажиров (количество пассажиров при прибытии в порт  $I_{1,n}$ ). По мере анализа пассажиропотоков и конечного спроса [16] выстраивается маршрут движения. При этом в модели также включено повторное привлечение пассажиропотока, но уже на новый маршрут. Ввиду ограниченности вариантов между морскими портами и терминалами в регионах морей, для стимулирования пассажиропотока компании-перевозчики должны изменять маршрутные направления, тем самым изменяя туристические продукты.

### Результаты (Results)

Морские паромные и круизные перевозки зависят от многих факторов, среди которых одними из основных являются динамика пассажиропотока и интерес пассажиров к выбранному маршруту. Линейные модели и целевые функции позволяют описать переменные процесса, формализовать задачу синтеза, но при практической реализации сводятся к значительным упрощениям. Данный способ не позволяет учитывать динамику изменений и решить задачу прогноза эффективности нового маршрута.

Рассматривается новая модель выбора морской паромной сети через систему пассажирских портов и терминалов, в которой предлагается рассматривать пассажирский порт как точку концентрации пассажиропотоков с учетом их динамики. На основе данных по спросу или опытных

данных паромной компании, с учетом разработанного методологического базиса маршрутных сетей, формируется новый маршрут. В этом случае можно решать задачу планирования и вносить динамические коррективы в существующие маршруты. Использование данной модели позволяет повысить качество принятия решений по планированию маршрутной сети в случае одновременной работы как одного, так и нескольких паромов на линии.

### Обсуждение (Discussion)

Система морских паромных перевозок в регионах морей находится в зависимости от многих условий, как географических, технологических, так и экономических. Очень многое зависит от выстраивания качественной работы систем: «морская паромная линия – пассажирский порт / терминал – околотерминальное транспортное пространство». Различными являются возможные ситуации, когда туристы находятся в городе, во время стоянки паромного судна во время круиза, когда круиз начинается и заканчивается в одном городе (например, в г. Санкт-Петербурге). Конечно, чем больше таких маршрутов, тем интенсивнее будет развиваться сфера пассажирских перевозок в регионе. В настоящее время меняются целевые установки среднестатистического пассажира, который, стремясь к мобильности, путешествует со своим транспортным средством. При этом клиент, стремящийся к новизне, сталкивается с ситуацией ограниченности рынка. Увеличение пассажиропотока будет наблюдаться там, где появляются новые маршруты, а на Балтике на данный момент рынок ограничен исторически сложившимися центрами.

В настоящее время спрос на перевозки распределен между четырьмя основными регионами судоходства: Карибский бассейн, Средиземноморье, Азия и Балтика. Как правило, данный рост имеет циклический характер — вначале лучшую динамику показывает один рынок, затем вперед вырывается другой. Конечно, необходимо выработать инструменты для дополнительного привлечения туристов на паромы, чтобы пассажир выбрал паром в следующий раз из родного города в начале круиза. Для этого следует регулярно обновлять маршруты между системой портов, а это, в свою очередь, требует решения задачи планирования и прогнозирования. Для прогнозирования спроса имеет место использование математического аппарата матриц корреспонденций [17], так как при помощи использования этого метода можно смоделировать загруженность транспортных узлов и достичь удобства оценки околотерминального транспортного пространства. Пример моделирования спроса на основе комбинации различных портов и оценки околотерминального пространства дан на рис. 5.

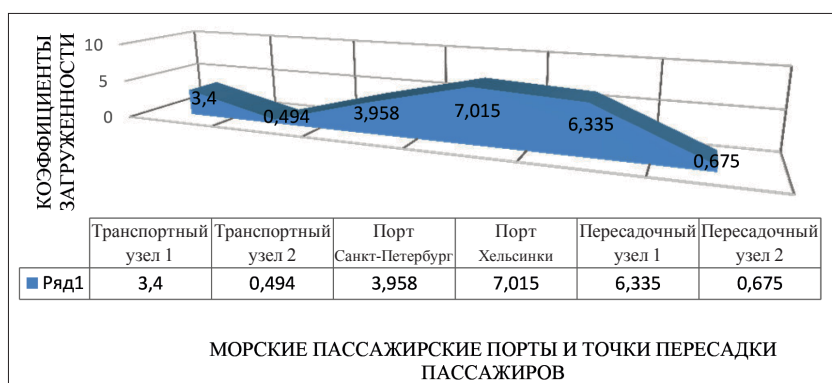


Рис. 5. Вариант результата моделирования нагрузки паромной линии Санкт-Петербург – Хельсинки с учетом наличия пересадочных узлов

### Выводы (Conclusions)

Выполненное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Наблюдается сохранение тенденции на увеличение спроса паромных сообщений на Санкт-Петербург и увеличение спроса в круизных и паромных линиях, что позволяет обосновать инфраструктурные проекты по модернизации морского пассажирского порта.

2. Между пассажирскими морскими портами и терминалами в регионе Балтийского моря наблюдается конкуренция за пассажиропоток, что в условиях ограниченности ввода новых маршрутов является значительным стимулом для развития окотерминального транспортного пространства.

3. Имеющимся регулярным паромным компаниям Санкт-Петербурга необходимо вводить новые маршруты для дополнительного привлечения пассажиров на круизы и стимулирования рынка.

4. В исследовании приведено оригинальное решение задачи планирования введения нового маршрута через систему портов и терминалов в начале навигации.

5. Приведены модели целевых функций, направленные на уменьшение простоев и возможных издержек, а также определена ограниченность их практического применения.

6. В исследовании на основании круговых диаграмм связей представлено решение задачи оценки рынка паромных перевозок и решена задача определения портов и терминалов, пользующихся наибольшим спросом у туристов и пассажиров круиза в выбранном регионе.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Порт «Морской вокзал» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.mvokzal.ru/morskoj-vokzal> (дата обращения: 15.11.2019).
2. Порт Санкт-Петербург «Морской фасад» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.portspb.ru/> (дата обращения: 15.11.2019).
3. Baltic ports volumes in 2009 // *Baltic Transport Journal*. — 2010. — № 4. — Pp. 28–33.
4. Baltic Sea Sewage Port Reception Facilities 2018. Baltic Marine Environment Protection Commission [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.helcom.fi> (дата обращения: 15.11.2019).
5. Directferries.com [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.directferries.com/routes.htm> (дата обращения: 11.11.2019).
6. 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.
7. Agarwal R. Ship Scheduling and Network Design for Cargo Routing in Liner Shipping / R. Agarwal, O. Ergun // *Transportation Science*. — 2008. — Vol. 42. — Is. 2. — Pp. 175–196. DOI: 10.1287/trsc.1070.0205.
8. Fagerholt K. Fleet deployment in liner shipping: a case study / K. Fagerholt, T.A.V. Johnsen, H. Lindstad // *Maritime Policy & Management*. — 2009. — Vol. 36. — Is. 5. — Pp. 397–409. DOI: 10.1080/03088830903187143.
9. Krile S. Forecasting the operational activities of the sea passenger terminal using intelligent technologies / S. Krile, N. Maiorov, V. Fetisov // *Transport Problems*. — 2018. — Vol. 13. — Is. 1. — Pp. 27–36. DOI: 10.21307/tp.2018.13.1.3.
10. Mulder J. Methods for strategic liner shipping network design / J. Mulder, R. Dekker // *European Journal of Operational Research*. — 2014. — Vol. 235. — Is. 2. — Pp. 367–377. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.09.041.
11. Krile S. Logistic Support for Loading/Unloading in Shipping with Multiple Ports / S. Krile // *Proc. of 31st International Conference of Automation in Transportation (Korema)*, Pula – Milan. — 2011. — Pp. 94–97.
12. Lun Y. H. V. Fleet mix in container shipping operations / Y.H.V. Lun, M. Browne // *International Journal of Shipping and Transport Logistics*. — 2009. — Vol. 1. — Is. 2. — Pp. 103–118. DOI: 10.1504/IJSTL.2009.024491
13. Maiorov N. Simulation of the route network and ferry traffic intensity based on the process of discretization and circos plot intensity diagram / N. Maiorov, V. Fetisov, S. Krile, D. Miskovic // *Transport Problems*. — 2019. — Vol. 14. — Is. 4. — Pp. 21–31. DOI: 10.20858/tp.2019.14.4.2.
14. Krile S. New approach in definition of multi-stop flight routes / S. Krile, M. Krile // *Transport Problems*. — 2015. — Vol. 10. — Is. 1. — Pp. 87–96.
15. 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. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-2-28-37.
16. Barron P. Issues determining the development of cruise itineraries: A focus on the luxury market / P. Barron, A. B. Greenwood // *Tourism in Marine Environments*. — 2006. — Vol. 3. — Num. 2. — Pp. 89–99. DOI: 10.3727/154427306779435238.
17. Wang J. The study and analysis of model algorithm for dynamic origin-destination matrix estimation and prediction / J. Wang // *Ningxia Engineering Technology*. — 2002. — Vol. 1. — No. 4. — Pp. 362–365.

## REFERENCES

1. Port Morskoy vokzal. Web. 15 Nov. 2019 <<http://www.mvokzal.ru/morskoy-vokzal>>.
2. Port Sankt-Peterburg Morskoi Fasad. Web. 15 Nov. 2019 <<https://www.portspb.ru/>>.
3. "Baltic ports volumes in 2009." *Baltic Transport Journal*. 2010. № 4. P. 28–33.
4. Baltic Sea Sewage Port Reception Facilities. Baltic Marine Environment Protection Commission. Web 15 Nov. 2019 <<http://www.helcom.fi>>.
5. Directferries.com. Web. 11 Nov. 2019 <<https://www.directferries.com/routes.htm>>.
6. Maiorov, Nikolai Nikolaevich. "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.
7. Agarwal, Richa, and Özlem Ergun. "Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping." *Transportation Science* 42.2 (2008): 175–196. DOI: 10.1287/trsc.1070.0205
8. Fagerholt, Kjetil, Trond AV Johnsen, and Haakon Lindstad. "Fleet deployment in liner shipping: a case study." *Maritime Policy & Management* 36.5 (2009): 397–409. DOI: 10.1080/03088830903187143.
9. Krile, Srećko, Nikolai Maiorov, and Vladimir Fetisov. "Forecasting the operational activities of the sea passenger terminal using intelligent technologies." *Transport Problems* 13.1 (2018): 27–36. DOI: 10.21307/tp.2018.13.1.3
10. Mulder, Judith, and Rommert Dekker. "Methods for strategic liner shipping network design." *European Journal of Operational Research* 235.2 (2014): 367–377. DOI: 10.1016/j.ejor.2013.09.041.
11. Krile, S. "Logistic Support for Loading/Unloading in Shipping with Multiple Ports." *Proc. of 31st International Conference of Automation in Transportation (Korema). Pula – Milan*. 2011. 94–97.
12. Lun, YH Venus, and Michael Browne. "Fleet mix in container shipping operations." *International Journal of Shipping and Transport Logistics* 1.2 (2009): 103–118. DOI: 10.1504/IJSTL.2009.024491.
13. Maiorov, N., V. Fetisov, S. Krile, and D. Miskovic. "Simulation of the route network and ferry traffic intensity based on the process of discretization and circos plot intensity diagram" *Transport Problems* 14.4 (2019): 21–31. DOI: 10.20858/tp.2019.14.4.2.
14. Krile, Srećko, and Marina Krile. "New approach in definition of multi-stop flight routes." *Transport Problems* 10.1 (2015): 87–96.
15. Maiorov, Nikolaj Nikolaevich. "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.
16. Barron, Paul, and Ana Bartolome Greenwood. "Issues determining the development of cruise itineraries: A focus on the luxury market." *Tourism in Marine Environments* 3.2 (2006): 89–99. DOI: 10.3727/154427306779435238
17. Wang, Jin-mei. "The study and analysis of model algorithm for dynamic origin-destination matrix estimation and prediction." *Ningxia Engineering Technology* 1.4 (2002): 362–365.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Майоров Николай Николаевич** —  
кандидат технических наук, доцент  
ФГАОУ ВО «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 24 ноября 2019 г.  
Received: November 24, 2019.