

SIMULATION OF MARINE FERRY ROUTES BASED ON GRAPH THEORY IN THE CONTEXT OF STRATEGIC PLANNING

N. N. Maiorov, V. A. Fetisov, A. A. Dobrovolskaia

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

The issues of implementation of long-term goals of sustainable development of sea passenger transportation, achievement of transportation results, overcoming the negative impact of factors of unstable external environment, which are determined by the chosen course laid down in the basis of strategic management of ferry transportation and choice of route directions, are investigated in the paper. The study indicates that despite the negative impact of COVID-19 and the resulting delayed passenger demand for cruise services, the potential of the maritime ferry and cruise market is very high. It is noted that since 2021 there is a gradual process of recovery of route networks, which takes place in different regions with different dynamics. Therefore, the goals of ferry companies are to implement several strategic planning tasks, among which the task of designing the most efficient new route network is relevant, while companies can start to implement route networks and destinations based on the existing route networks (e. g. networks and destinations of the Baltic Sea) for 2019. It is emphasized that due to the new possibility to attract additional passenger traffic, detailed research and modelling of different options is needed. The Baltic Sea region is chosen as the object for the study, since the local mobility of passageways makes it possible to renew the routes in the shortest possible time. The data for different seas, characterizing the intervals of decline and justifying the necessity of innovations on the basis of new competitive routes creation, are presented in the study. The subject of the study is routes and route networks of the seas regions. The use of models in the form of graphs and algorithms, such as Dijkstra's algorithm, is proposed for modelling different variants of sea ferry routes architecture. The new ferry route network model is implemented in the J-Circos software environment for the subsequent construction of various intensity diagram options. Due to the flexibility of the interfaces and the software environment it is possible to combine the existing networks in 2019 and the proposed new routes in a single information field. In this way, a new possibility to assess the position of a ferry company on the passenger market and to evaluate the quantitative indicators in relation to the other ferry and cruise companies is considered in the paper. The proposed solutions are included in a separate decision-making flowchart for selecting a promotion strategy in the sea region ferry market. The solutions presented have versatility, the methodology and implementation can also be applied to the other sea regions. A new possibility of representing evolutionary changes in the route networks, which also provides an opportunity to further improve the quality of strategic planning and promotion decision-making, forming a separate area of analytical work of a maritime ferry company, is considered.

Keywords: ferry network, maritime ferry transportation, intensities pie charts, Baltic Sea, graphs, shortest route, port system.

For citation:

Maiorov, Nikolai N., Vladimir A. Fetisov, and Angelina A. Dobrovolskaia. "Simulation of marine ferry routes based on graph theory in the context of strategic planning." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.6 (2021): 782–793. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-782-793.

УДК 65.012.1, 656.072

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАРШРУТОВ МОРСКИХ ПАРОМНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ГРАФОВ В КОНТЕКСТЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, А. А. Добровольская

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

В работе исследованы вопросы реализации долгосрочных целей устойчивого развития морских пассажирских перевозок, достижения результатов перевозок, преодоления негативного влияния факторов

нестабильной внешней среды, которые определяются выбранным курсом, положенным в основу стратегического управления паромными перевозками и выбором маршрутных направлений. В проведенном исследовании указывается, что несмотря на негативное влияние Covid-19, и наблюдающийся в связи с этим отсроченный спрос на круизные перевозки у пассажиров, потенциал рынка морских паромных и круизных перевозок очень высок. Отмечается, что начиная с 2021 г. наблюдается постепенный процесс восстановления маршрутных сетей, который происходит в различных регионах с разной динамикой. В связи с этим целями паромных компаний является реализация нескольких задач в области стратегического планирования, среди которых актуальной является задача проектирования наиболее эффективной новой маршрутной сети. При этом компании могут начать реализовывать маршрутные сети и направления на основе базы имеющихся маршрутных сетей (например, сетей и направлений Балтийского моря) на 2019 г. Подчеркивается, что ввиду новой возможности привлечения дополнительного пассажиропотока, необходимо детальное исследование и моделирование различных вариантов маршрутных сетей морских паромных перевозок. Объектом исследования выбран регион Балтийского моря, поскольку именно локальная мобильность пассажиров дает возможность возобновления маршрутов в кратчайшие сроки. В работе представлены данные по различным морям, характеризующие интервалы спада и обосновывающие необходимость введения инноваций на основе создания новых конкурентных маршрутов. Предметом исследования являются маршруты и маршрутные сети регионов морей. Для моделирования различных вариантов архитектуры морских паромных маршрутов предлагается использование моделей в форме графов и таких алгоритмов, как алгоритм Дейкстры. Новая модель паромной маршрутной сети реализована в программной среде J-Circos для последующего построения различных вариантов диаграмм интенсивностей. Ввиду гибкости интерфейсов и программной среды предоставлена возможность совмещения существующих сетей 2019 г. и предлагаемых новых маршрутов в едином информационном поле. Таким образом, в работе рассмотрена новая возможность оценки положения паромной компании на рынке пассажирских перевозок и оценки количественных показателей по отношению к другим паромным и круизным компаниям. Предложенные решения включены в отдельную блок-схему принятия решений по выбору стратегии продвижения на рынке паромных перевозок в регионе моря, они обладают универсальностью, поэтому данную методiku и реализацию можно применять также для регионов других морей. Рассмотрена новая возможность представления эволюционных изменений в маршрутных сетях, что также дает возможность дополнительного повышения качества принятия решений по стратегическому планированию и продвижению, образуя отдельное направление аналитики работы морской паромной компании.

Ключевые слова: паромная сеть, морские паромные перевозки, круговые диаграммы интенсивностей, Балтийское море, графы, кратчайший маршрут, система портов.

Для цитирования:

Майоров Н. Н. Моделирование маршрутов морских паромных перевозок на основе теории графов в контексте стратегического планирования / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, А. А. Добровольская // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 6. — С. 782–793. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-782-793.

Введение (Introduction)

В период 2016–2019 гг. морские круизы являлись одним из наиболее интенсивно развивающихся туристических направлений. В данной отрасли наблюдалась значительная динамика ежегодного прироста показателей. Начиная с 1990 по 2021 гг. в связи с быстрым ростом рынка круизов широкое распространение получили круизные маршруты от Карибского и Средиземного моря, Аляски до Азии. Согласно аналитическим данным [1]–[3], во всем мире индустрия океанских и морских круизов в указанный период имеет ежегодный совокупный темп роста пассажиропотока в размере 6,63 %. Изучение аналитических отчетов: 2020 Cruise Industry 101, МНА 35th Special Magazine, позволяет сделать вывод о том, что несмотря на временную остановку в развитии, вызванную пандемией Covid-19, компании прогнозируют значительное увеличение емкости рынка (рис. 1).



Рис. 1. Тренд на увеличение спроса / емкости рынка круизных и паромных перевозок

Согласно источнику Cruise Market Watch. Growth of the Ocean Cruise Line Industry 2021¹, в таблице приведены мировые данные по пассажиропотоку круизных и паромных направлений.

Перевозки пассажиров морскими круизными и паромными линиями с 2017 по 2021 гг.

Годы	Порты Северной Америки, шт.	Порты Европы, шт.	Другие регионы морей, шт.
2017	12645600	6996000	5536400
2018	12927800	7285100	6291700
2019	12929200	7564900	7014800
2020	3225500	1935300	1931800
2021	6118596	3754580	4032711

Увеличение пассажиропотока связано с возобновлением паромных маршрутов в пределах портов одной страны. Графические характеристики изменения пассажиропотоков, согласно данным [1], [2], приведены на рис. 2.

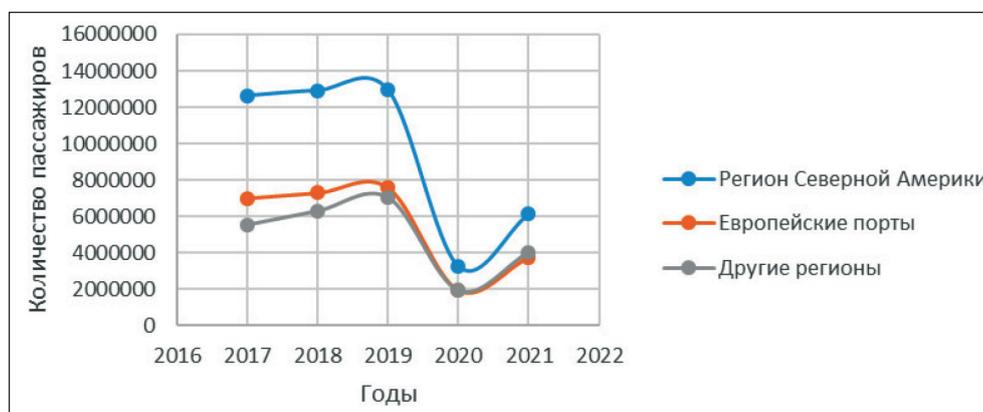


Рис. 2. Динамика пассажиропотоков

Несмотря на прогнозируемые данные и высокий потенциал рынка круизных и паромных линий морских круизных перевозок с 2017 по 2021 гг., ситуация, наблюдающаяся в настоящее время, не позволяет быстро достигнуть докризисного уровня. Из-за ограничений, вызванных эпидемией Covid-19, необходимо постепенное восстановление и возобновление работы маршрутных сетей и отдельных направлений. Например, применительно к региону Балтийского моря, если рассмотреть расписание судозаходов АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад»» (Passenger Port of Saint-Petersburg «Marine Façade»), последним круизным судном был лайнер AIDAaura, который находился в порту 21 октября 2019 г. В настоящее время расписание круизного судоходства в порту не восстановлено.

Согласно графическим характеристикам на рис. 2 и приведенным ранее табличным данным, видно, что пандемия Covid-19 приостановила индустрию пассажирских круизов в среднем на одиннадцать месяцев. С другой стороны, согласно источникам [1]–[3], данный процесс также ускорил процесс списания многочисленных круизных и паромных судов, поскольку современный флот становится более экологичным, требуя внедрения новых автоматизированных и интеллектуальных информационных решений. Известно, что реализация долгосрочных целей устойчивого развития морских пассажирских перевозок, достижение желаемых результатов и преодоление негативного влияния факторов нестабильной внешней среды определяются выбранным курсом, заложенным в основу стратегического управления.

¹ Cruise Market Watch. Growth of the Ocean Cruise Line Industry. 2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cruisemarketwatch.com/growth/> (дата обращения: 05.09.2021).

Под влиянием эпидемии Covid-19 наблюдается резкое снижение глобальной мобильности круизов, в то время как локальная мобильность дает возможность ее оперативного возобновления в кратчайшие сроки. К регионам, к которым применимо понятие *локальной мобильности*, относится регион Балтийского моря. Исходя из системных позиций, круизная индустрия развивается посредством маршрутов новых направлений. Новый маршрут служит основным элементом — точкой роста и развития [4]–[7], стимулируя прогресс в смежных отраслях. Кроме того, именно он оказывает большое влияние на заполняемость круизных судов, определяя их экономическую эффективность. В данной статье объектом исследования являются маршруты и маршрутные сети, также оказывающие влияние на позицию паромной компании и морского пассажирского порта в регионе.

В настоящее время круизным компаниям необходимо вводить инновации в свои маршруты в различных районах для привлечения туристов. Разработка круизных маршрутов является вопросом, имеющим важное стратегическое и оперативное значение для круизных компаний, поскольку он является одним из главных факторов, оказывающих влияние на выбор круиза клиентами. В статье [8] исследована модель выбора морского круизного или паромного маршрута на основе логистической функции. Представленное решение позволяет спрогнозировать загруженность маршрута и может применяться как инструмент оценки эффективности существующей сети, однако оно несколько ограничено, так как применимо для конкретного маршрута и конкретного паромного судна.

В ситуации постепенного восстановления маршрутов круизных и паромных перевозок, снятия ограничений, вызванных эпидемией Covid-19, перед компаниями наиболее актуальной является задача выбора стратегии формирования маршрутной сети. С позиций системного анализа ситуация является характерной для принятия решения в случае неопределенности [9] для регионов морей в случае, когда возможны следующие варианты выбора стратегий:

1-й вариант — восстановление маршрутов только между двумя портами, переход к постепенному регулярному паромному движению;

2-й вариант — запуск новых маршрутов с целью привлечения пассажиров и ускорения достижения докризисных уровней;

3-й вариант — принятие решения по реализации маршрутных сетей 2019 г. и начала 2020 г. без изменений.

Каждый из представленных вариантов решений зависит от моделей и методов, определяющих маршрутные сети. Если третий вариант стратегии подразумевает использование применяемых маршрутов (простое восстановление существующей сети), то первые два требуют детальной разработки новых маршрутов, формирования новой сети на основе методов оптимизации, использования аппарата теории графов [10], современного информационного обеспечения проектирования маршрутов и анализа на основе диаграмм интенсивностей. Необходимы решения для системного представления всех маршрутов в некоторой единой плоскости. Новизна предлагаемого в работе исследования состоит в том, что рассматриваемое решение позволяет проектировать и исследовать маршрутные сети паромных и круизных линий с учетом влияния внешней среды и выполнять оценку изменений по отношению к другим паромным компаниям.

Методы и материалы (Methods and Materials)

При выборе исходных данных системы морских пассажирских паромных линий объектом исследования выбран регион Балтийского моря и имеющиеся морские пассажирские паромные и круизные маршруты в 2019–начале 2020 гг. Морские паромные круизы и перевозки являются быстроизменяющейся системой, что позволяет достаточно гибко вносить в маршрутные сети и тем самым менять позицию и положение круизной или паромной компании в регионе. Данному положению также способствует близость стран региона Балтийского моря. Если рассматривать отдельно выбранный регион, то в Балтийском море существует не менее десяти основных паромных операторов, выполняющих пассажирские перевозки. Одним из уникальных аспектов Балтийского моря является то, что самые маленькие операторы (по критерию количества паромов

у компании и имеющейся маршрутной сети) могут конкурировать с крупнейшими на маршрутах. Основными из них являются: Eckerö Line, Eckerö Linjen, Finbo Cargo, Finnlines, St. Peter Line, Stena Line, TT-Line, Tallink Silja, Viking Line, Wasaline. В регионе Балтийского моря находится более 200 портов, 46 из которых могут осуществлять регулярные пассажирские круизные и паромные перевозки.

Организационная структура морского круиза представляет собой передвижение судна по некоторому заданному круговому маршруту с осуществлением радиальных поездок из портов во внутренние районы определенной страны. По длительности круизные маршруты подразделяются [11] следующим образом:

- краткосрочные (от нескольких часов до нескольких суток);
- среднесрочные (от трех до тринадцати суток);
- долгосрочные (до двух месяцев).

В соответствии с данной классификацией наблюдается пропорциональное увеличение количества портов, которые входят в состав маршрута. С позиций оперативного восстановления направлений и маршрутной сети необходимо краткосрочные и среднесрочные маршруты в первую очередь адаптировать к новым условиям восстановления. Представим маршрутную сеть на основе теории графов. Применительно к круизному маршруту принимаем, что порт начала круиза отличается от порта захода и должен обладать следующими двумя характеристиками:

- как порт отправления круизного маршрута занимается сбором круизного туристического потока;
- как порт высадки круизного маршрута занимается распределением круизного туристического потока.

На рис. 3 приведены различные варианты организации маршрутных сетей морских паромных линий с указанием $A11...A22...Ann$ — морских пассажирских портов региона моря; $H1, H2, H3, ...$ — основных морских пассажирских портов, между которыми существует некоторая маршрутная сеть.

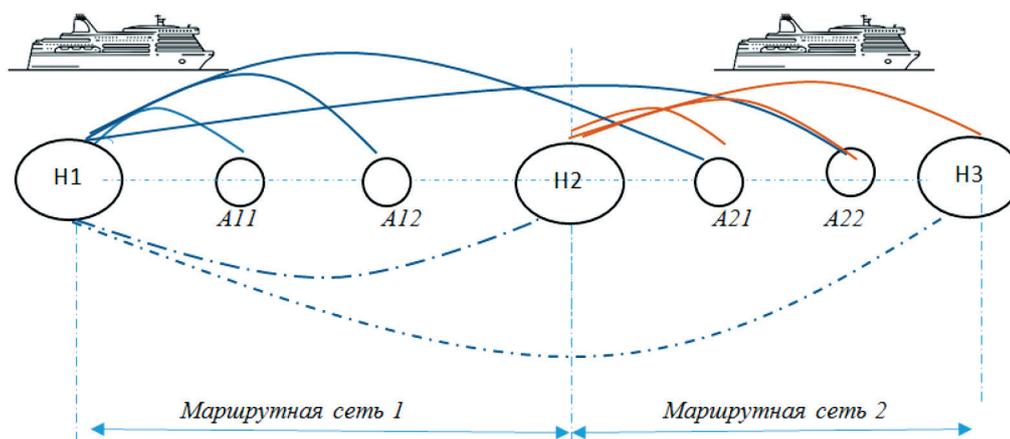


Рис. 3. Варианты организации маршрутной паромных сети в регионе моря,
— различные варианты формирования альтернативных маршрутов из портов $H1, H2, H3, ...$;
— существующие маршруты между пассажирскими портами.

В процессе формирования системы принятия решений по организации новых маршрутов, согласно рис. 3, модель преобразуется к набору конечного количества различных вариантов, введенных на рис. 4.

Ввиду многообразия различных вариантов маршрутов через порты и терминалы, необходимо выполнять моделирование различных вариантов организации архитектуры сети. В данной статье не учитываются экономические условия и вопросы приграничного сотрудничества стран Балтийского региона. Для решения задачи стратегического планирования необходимо не только построение новой сети, но и использование инструментария, позволяющего отразить увеличение

или уменьшение доли присутствия компании на рынке морских паромных перевозок согласно выбранной стратегии развития.

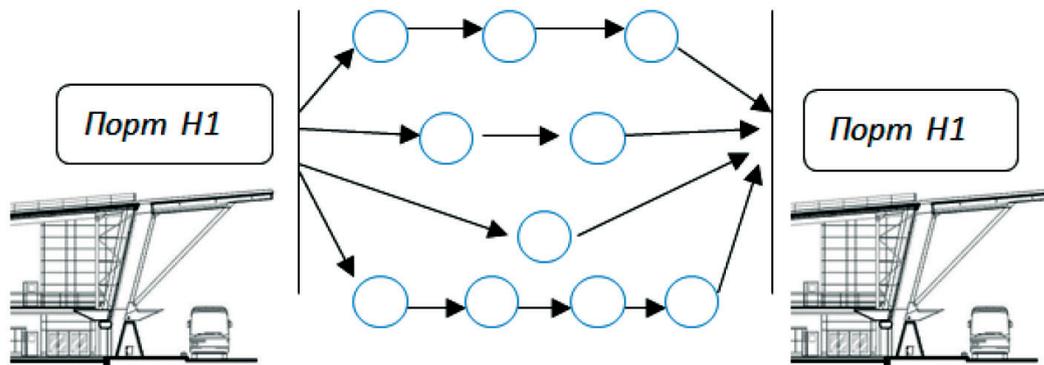


Рис. 4. Формирование различных вариантов построения маршрутов паромных линий через различную систему портов региона

Среди многообразия моделей и методов моделирования систем [12], [13] для решения задачи маршрутизации [14] предлагаются модели в форме графов (ориентированные, неориентированные и другие варианты). Использование аналитических моделей позволяет найти некоторое ограниченное количество решений, но не дает возможности представить маршрутные сети и вопросы изменения для всего региона моря. Для оценки эффективности возможных вариантов организации маршрутной сети на основе применения графов необходимо выполнить следующее:

- определить количество дополнительных портов, организуемых между рассматриваемыми портами как источниками формирования маршрута;
- определить количество новых портов, входящих в новый маршрут;
- определить возможную пропускную способность маршрута;
- определить значение длины кратчайшего пути от центрального узла графа до самого дальнего с учетом выполнения требований по ограничению суммарного потока между ними при помощи определения величины максимальной пропускной способности, входящей в этот маршрут.

Примем, что весь поток, исходящий из некоторого узла (порта) a_1 , сходится в узлах b_n , где $n \neq 1$, а весь поток, исходящий из узлов a_m , где $m \neq 1$, сходится в узле b_1 . Такое допущение возможно при условии, что количество данных, исходящих из узла a_m , конечным адресом которых является узел b_n , при $m \neq 1$ и $n \neq 1$ значительно меньше, чем между $a_1 b_n$ и $a_m b_1$. Таким образом, значение $a_m b_n = 0$ при $m \neq 1$ и $n \neq 1$. Для решения поставленных задач удобно использовать математическую модель сети, представленную в виде неориентированного графа $G(V, E)$, включающего множество вершин $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_i\}$, соответствующих узлам системы (пассажирским портам), и множество ребер $E = \{u, v | u \in V, v \in V\}$, описывающих существующие физические связи между соседними узлами (портами). Для упрощения расчетов примем, что каждое ребро между смежными ему вершинами (портами) отображает все физические связи, имеющиеся между соответствующим этим вершинам узлами (пассажирскими портами). Первому варианту будет соответствовать граф $G_1(V, E)$, заданный соответствующей матрицей смежности и матрицей весов:

$$S[i, j] = \begin{cases} 1; \\ 0; \\ \infty; \end{cases} \quad W[i, j] = \begin{cases} c_{ij}; \\ \infty; \\ \infty. \end{cases}$$

Элементы матрицы смежности $S[i, j] = 1$, если вершина v_i является смежной с вершиной v_j ; они равны нулю, если вершина v_i является несмежной с вершиной v_j и равны ∞ , если выполняется условие $i = j$. Для матрицы весов $W[i, j]$ равна c_{ij} при наличии ребра между вершинами. Остальные

значения в исследование не включаются и принимаются равными ∞ . Для практической реализации значение матрицы $W[i, j]$ задает максимальную пропускную способность маршрута связи между узлами v_i и v_j .

Используя математический аппарат теории графов, можно определить минимальное количество ребер, образующих путь между вершинами v_i и v_j . Результат представим в виде матрицы-строки:

$$D[j] = \begin{cases} d, d = \min \sum e_{uv} \mid e_{uv} \in E; \\ 0, j = 1. \end{cases}$$

Поскольку в данном случае исследуется модель в форме графов, имеет место использование алгоритма поиска кратчайших путей (алгоритм Дейкстры). В данном случае поочередно проложим кратчайший маршрут из вершины v_i до вершины v_j , для каждой из которых выполняется текущее условие $D[j] \rightarrow \min$. Далее определим все ребра (участки), входящие в каждый текущий маршрут паромной линии. По каждому из этих ребер может быть организован маршрут. Результаты практической реализации приведены на рис. 5. Для построения модели предлагается порты, входящие в выборку маршрутов, разместить по окружности.

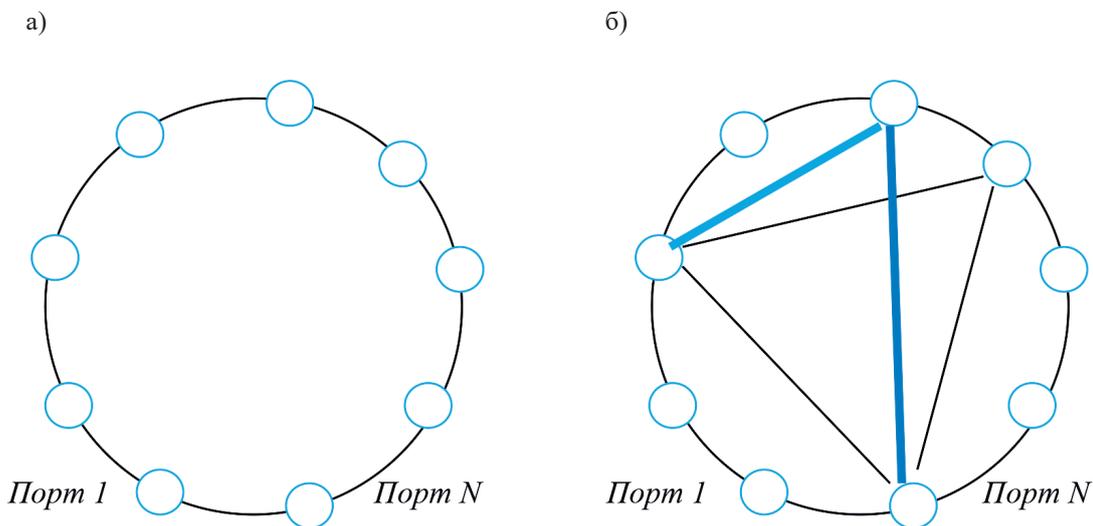


Рис. 5. Моделирование архитектуры сети для паромных и круизных линий в границах региона моря: а — исходная модель; б — новый вариант маршрутной сети

Для практической реализации моделирование различных вариантов маршрутной сети предлагается использование круговых диаграмм интенсивностей. В качестве программного решения предлагается использование информационной среды J-Circos [15]. Данная версия программы имеет специализированный редактор, позволяющий проектировать различные варианты организации маршрутных сетей. Версии программы дают возможность сохранения в форматах, совместимых с аналитическими информационными пакетами.

Представим реализацию представленного ранее алгоритма в среде J-Circos, которая представляет собой интерактивный инструмент визуализации сложных систем с возможностью динамического изменения графических данных. Построение модели системы в J-Circos требует создания специальных файлов, описывающих характер элементов системы и связей между ними. Чтобы добавить связи и их интенсивность к исходному графику, необходимо использовать тип моста Circos plot, соответствующего дуге графа.

В файле задаются следующие поля:

1. Color — цвет соединения в формате RGB. Поскольку интенсивности невелики, разница в ширине линий связей не видна. Для каждой маршрутной сети имеется возможность выделения элементов различным цветом.

2. Chrom1 (2) — связанные элементы системы. Примем отсчет элементов с первого морского пассажирского порта или терминала, другие порты также располагаются на этой окружности по часовой стрелке.

3. Start1 — положение на участке, занимаемое исходной / конечной точкой маршрута.
4. Length1 — поток трафика из порта 1 в порт 2.
5. Length2 — поток трафика из порта 1 в порт 2 в обратном направлении.
6. Description1 — имя порта.

Практический пример реализации кода в среде J-Circos для системы портов приведен на рис. 6.

```
Radius 180
Color      chrom1 start1 length1 description1 chrom2 start2 length2 description2
255,0,0   chr1  80000000 4      port1      chr19 40000000 4      port19
0,0,255   chr1  10000000 2      port1      chr20 40000000 2      port20
255,0,255 chr2  10000000 1      port2      chr16 40000000 1      port16
0,0,255   chr2  80000000 2      port2      chr17 40000000 2      port17
.....
255,0,255 chr7  80000000 1      port7      chr11 100000000 1     port11
Radius 205 Color      chrom      start text type
0,0,0   chr1  120000000 Bari      circumference
0,0,0   chr2  120000000 Cvitanova circumference
0,0,0   chr3  100000000 Ancona   circumference
...
0,0,0   chr20 350000000 Bar      circumference
Radius 220 Color      chrom      start text type
0,0,0   chr2  120000000 Marche  circumference
0,0,0   chr12 700000000 Mali    circumference
```

Рис. 6. Реализации программного кода маршрутной сети в среде J-Circos

Полученные данные необходимо передать в информационную систему J-Circos. Благодаря единству форматов имеется возможность согласования использования данных. Пример построения маршрутной сети для паромов «Принцесса Анастасия» (Princess Anastasia) компании St. Peter Line приведен на рис. 7.



Рис. 7. Интенсивность движения паромов «Принцесса Анастасия» (Princess Anastasia) между портами и терминалами Балтийского моря

Обсуждение (Discussion)

На основе представленного подхода появляется возможность исследования различных вариантов организации сети паромных маршрутов в регионе моря с проведением качественной программной реализации в информационных средах J-Circos и CircosPlot. Ввиду наличия изменяемого интерфейса открывается возможность изменять системы портов, интенсивности работы, количественные характеристики загруженности. В отличие от моделей, представленных в работах [9], [16], [17], предлагаемое решение в форме графов и используемый инструментарий позволяют визуализировать маршрутные сети и определять взаимное влияние между паромными маршрутами различных компаний в регионе моря. В представленном решении для исследования графов был предложен алгоритм Дейкстры как наиболее эффективный для реализации процесса постепенного восстановления маршрутов. При этом в зависимости от целей исследования можно использовать другие хорошо известные алгоритмы нахождения оптимизационных путей на графах.

Предложенное решение позволяет сформировать блок-схему системы принятия решений по модернизации маршрутной сети для восстановления докризисных значений. Предлагаемая блок-схема приведена на рис. 8.

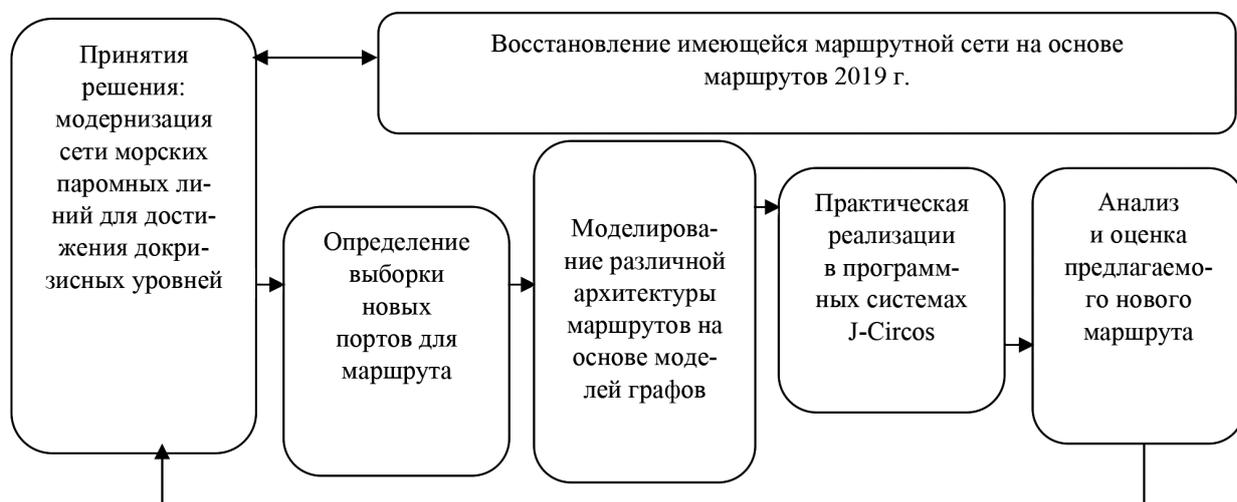


Рис. 8. Варианты принятия решений по модернизации маршрутной сети паромных линий

Поскольку между паромными компаниями существует конкуренция за пассажиропоток, в условиях восстановления им необходимо выводить на рынок новые маршруты. Это позволит дополнительно привлечь пассажиропоток и даст возможность увеличить время присутствия одних паромных компаний на рынке по отношению к другим, а также будет способствовать повышению точности принятия решения, поскольку дает возможность выработать некоторое оптимальное решение и представить положение компании и ее маршрутной сети на рынке. Кроме того, ввиду варьируемых параметров, появляется возможность выстраивать цепочки изменений в маршрутных сетях, тем самым повышая уровень принятия решений.

Результаты (Results)

Представленное решение на основе моделей в форме графов и практическая реализация в среде J-Circos позволяют системно на единой круговой диаграмме выполнить моделирование различных вариантов маршрутных паромных и круизных сетей. Совместно с предложенными алгоритмами на графах сформированы критерии создания новых маршрутов, которые в аспекте стратегического планирования позволяют оперативно достигнуть докризисного уровня по объемам перевозок. Представленное исследование выполнено на основе данных маршрутных пассажирских паромных сетей, полученных в 2019 г. от десяти паромных компаний Балтийского моря. Пример

выполненной реализации представлен на рис. 7. Приведенное решение обладает универсальностью и может быть применено для регионов других морей. Для решения задачи формирования новых маршрутов предлагается теоретическая модель принятия решений, основанная на точном позиционировании компании и маршрутной сети в регионе моря. Представленное решение позволяет производить оценку положения паромной компании относительно других компаний.

Заключение (Conclusion)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Выполнена аналитическая оценка ситуации спада в сфере круизных и паромных перевозок и обоснована необходимость изменений маршрутных сетей паромных и круизных линий для восстановления системы до докризисного уровня и изменения позиционирования паромной компании в регионе.
2. Выполнен анализ имеющейся маршрутной сети на основе диаграмм Circos, представлена реализация программного кода в среде J-Circos.
3. На основе анализа имеющихся маршрутных сетей Балтийского моря представлены модели и подходы для формирования новой маршрутной сети, которые в дальнейшем можно использовать для исследования на основе моделей и методов теории графов и матричных преобразований.
4. Представленные решения, реализованные в среде J-Circos, на основе региона Балтийского моря можно применять для регионов других морей.
5. Возможна реализация различных моделей на основе теории графов, описывающих каждый из вариантов маршрутной сети, содержащих конкретное количество новых портов и узлов.
6. При помощи моделирования различных вариантов можно рассчитать кратчайшие маршруты между узлами системы (пассажирскими морскими портами). Предложена блок-схема для оценки эффективности того или иного варианта модернизации морской паромной сети с учетом конкретных условий функционирования региональной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cruise Market Watch. Growth of the Ocean Cruise Line Industry. 2021 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cruisemarketwatch.com/growth/> (дата обращения: 05.09.2021).
2. Brida J. G. Cruise Passengers in a Homeport: A Market Analysis / J. G. Brida, M. Pulina, E. Riaño, S. Z. Aguirre // *Tourism Geographies*. — 2013. — Vol. 15. — Is. 1. — Pp. 68–87. DOI: 10.1080/14616688.2012.675510.
3. 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.
4. Castillo-Manzano J. I. What does cruise passengers' satisfaction depend on? Does size really matter? / J. I. Castillo-Manzano, L. López-Valpuesta // *International Journal of Hospitality Management*. — 2018. — Vol. 75. — Pp. 116–118. DOI: 10.1016/j.ijhm.2018.03.013.
5. Chen M. J. Itinerary planning: Modeling cruise lines' length of stay in ports / M. J. Chen, P. Nijkamp // *International Journal of Hospitality Management*. — 2018. — Vol. 73. — Pp. 55–63. DOI: 10.1016/j.ijhm.2018.02.005.
6. Gabe T. M. Likelihood of cruise ship passenger return to a visited port: The case of Bar Harbor, Maine / T. M. Gabe, C. P. Lynch, J. C. McConnon Jr // *Journal of Travel Research*. — 2006. — Vol. 44. — Is. 3. — Pp. 281–287. DOI: 10.1177/0047287505279107.
7. Yan S. Optimal scheduling models for ferry companies under alliances / S. Yan, C. H. Chen, H. Y. Chen, T. C. Lou // *Journal of Marine Science and Technology*. — 2007. — Vol. 15. — Is. 1. — Pp. 53–66. DOI: 10.51400/2709-6998.2033.
8. Майоров Н. Н. Применение логистической функции для оценки воздействия внешней среды на морские паромные, круизные линии и морские пассажирские терминалы / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 627–639. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-627-639.
9. Бродецкий Г. Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности / Г. Л. Бродецкий. — М.: Academia, 2010. — 336 с.

10. Прокушев Л. А. Дискретная математика. Основы теории графов и алгоритмизации задач / Л. А. Прокушев. — СПб.: ГУАП, 2000. — 81 с.
11. Шпилько С. П. Морские круизы: теория и практика / С. П. Шпилько, Н. В. Андропова, Р. В. Чударев. — М.: Советский спорт, 2012. — 147 с.
12. Jugović A. Organization of Maritime Passenger Ports / A. Jugović, V. Mezak, S. Lončar // Pomorski zbornik. — 2006. — Vol. 44. — Is. 1. — Pp. 93–104.
13. Maiorov N. Forecasting of the route network of ferry and cruise lines based on simulation and intelligent transport systems/ N. Maiorov, V. Fetisov, S. Krile, D. Miskovic // Transport Problems. — 2019. — Vol. 14. — Is. 2. — Pp. 111–121. DOI: 10.20858/tp.2019.14.2.10.
14. Patric S. Alternative solutions for terminal traffic / S. Patric, N. Marcus. — Göteborg, Sweden, 2006. — 83 p.
15. J-Circos [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sourceforge.net/projects/jcircos/> (дата обращения: 05.09.2021).
16. Pallis A. A. Cruises and Cruise Ports: Structures and Strategies / A. A. Pallis, J. P. Rodrigue, T. E. Notteboom // Research in Transportation Business & Management. — 2014. — Vol. 13. — Pp. 1–5. DOI: 10.1016/j.rtbm.2014.12.002.
17. Chládek P. On some aspects of graph theory for optimal transport among marine ports / P. Chládek, D. Smetanová, S. Krile // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. — 2018. — Vol. 101. — Pp. 37–45. DOI: 10.20858/sjsutst.2018.101.4.

REFERENCES

1. Cruise Market Watch. Growth of the Ocean Cruise Line Industry. 2021. Web. 5 Sept. 2021 <<https://cruise-marketwatch.com/growth/>>.
2. Brida, Juan Gabriel, Manuela Pulina, Eugenia Riaño, and Sandra Zapata Aguirre. “Cruise passengers in a homeport: A market analysis.” *Tourism Geographies* 15.1 (2013): 68–87. DOI: 10.1080/14616688.2012.675510.
3. Čorluka, 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.
4. Castillo-Manzano, José I., and Lourdes López-Valpuesta. “What does cruise passengers’ satisfaction depend on? Does size really matter?” *International Journal of Hospitality Management* 75 (2018): 116–118. DOI: 10.1016/j.ijhm.2018.03.013.
5. Chen, Jamie M., and Peter Nijkamp. “Itinerary planning: Modelling cruise lines’ lengths of stay in ports.” *International Journal of Hospitality Management* 73 (2018): 55–63. DOI: 10.1016/j.ijhm.2018.02.005.
6. Gabe, Todd M., Colleen P. Lynch, and James C. McConnon Jr. “Likelihood of cruise ship passenger return to a visited port: The case of Bar Harbor, Maine.” *Journal of Travel Research* 44.3 (2006): 281–287. DOI: 10.1177/0047287505279107.
7. Yan, Shangyao, Chia-Hung Chen, Hsin-Yen Chen, and Tze-Chiang Lou. “Optimal scheduling models for ferry companies under alliances.” *Journal of Marine Science and Technology* 15.1 (2007): 53–66. DOI: 10.51400/2709-6998.2033.
8. Majorov, Nikolaj N., and Vladimir A. Fetisov. “Application of the logistic function to assess the impact of the environment on sea ferry, cruise lines and marine passenger terminals.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 627–639. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-627-639.
9. Brodetskii, G. L. *Sistemnyi analiz v logistike. Vybór v usloviyakh neopredelennosti*. M.: Academia, 2010.
10. Prokushev, L. A. *Diskretnaya matematika. Osnovy teorii grafov i algoritmizatsii zadach*. SPb.: GUAP, 2000.
11. Shpil’ko, S. P., N. V. Andronova, and R. V. Chudarev. *Morskie kruizy: teoriya i praktika*. M.: Sovetskii sport, 2012.
12. Jugović, Alen, Vlado Mezak, and Slavko Lončar. “Organization of maritime passenger ports.” *Pomorski zbornik* 44.1 (2006): 93–104.
13. Maiorov, Nikolai, Vladimir Fetisov, Srećko Krile, and Darijo Miskovic. “Forecasting of the route network of ferry and cruise lines based on simulation and intelligent transport systems.” *Transport Problems* 14.2 (2019): 111–121. DOI: 10.20858/tp.2019.14.2.10.
14. Patric, S., and N. Marcus. *Alternative solutions for terminal traffic*. Göteborg, Sweden, 2006.
15. J-Circos. Web. 5 Sept. 2021 <<https://sourceforge.net/projects/jcircos/>>.

16. Pallis, Athanasios A., Jean-Paul Rodrigue, and Theo E. Notteboom. "Cruises and cruise ports: Structures and strategies." *Research in transportation business & management* 13 (2014): 1–5. DOI: 10.1016/j.rtbm.2014.12.002.

17. Chládek, Petr, Dana Smetanová, and Srećko Krile. "On some aspects of graph theory for optimal transport among marine ports." *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport* 101 (2018): 37–45. DOI: 10.20858/sjsutst.2018.101.4.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Майоров Николай Николаевич —

доктор 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

Фетисов Владимир Андреевич —

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: Fet1@aanet.ru

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

Maiorov, Nikolai N. —

Dr. of Technical Sciences, 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

Fetisov, Vladimir A. —

Dr. of Technical Sciences, professor
Saint-Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation
67/A Bol'shaya Morskaya Str.,
St. Petersburg, 190000,
Russian Federation
email: Fet1@aanet.ru

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 7 октября 2021 г.

Received: October 7, 2021.