

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОРСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ТЕРМИНАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИАГРАММ СВЯЗЕЙ

Н. Н. Майоров

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

С позиций системного подхода сегодня невозможно исследовать отдельно морские пассажирские терминалы и работу паромных или круизных линий. Необходимо исследовать их взаимное влияние, анализировать интенсивности, учитывать влияние внешней среды и решать задачи прогнозирования. Данное обстоятельство обосновывает необходимость использования новых средств и моделей, позволяющих анализировать макроуровень, состоящий из всех портов региона и имеющихся в наличии паромных линий. Для решения задач краткосрочного прогнозирования хорошо себя зарекомендовал класс полиномиальных задач. При учёте взаимного влияния терминалов и паромных линий друг на друга задача значительно усложняется. При исследовании процессов на первое место выступает дискретный характер исходных данных, графиков судозаходов, расписаний, которые необходимо свести в единый массив данных. Процесс функционирования отдельного терминала с той или иной степенью точности может быть представлен в виде последовательности нескольких типичных расчётных режимов, каждый из которых соответствует изменению определённого набора характеристик и количества судозаходов. При решении задач на макроуровне предлагается использовать оптимизационные круговые диаграммы связей. Построение данной диаграммы сопряжено с выполнением определённых граничных условий, выполнение которых позволяет задать границы региона, исследования и сформировать полноту исходных данных. Объектом исследования были выбраны морские пассажирские терминалы Балтийского моря и имеющиеся паромные линии. На основе исходных данных выполнены преобразования и построена круговая диаграмма связей с учётом анализа взаимного влияния терминалов друг на друга. Полученные результаты позволяют повысить качество принятия решения, т. к. формируется представление макроуровня планирования системы «морские пассажирские терминалы – паромные линии» в рамках выбранного морского региона.

Ключевые слова: морской пассажирский терминал, паромное сообщение, круиз, морской порт, интенсивности круизных линий, загруженность порта.

Для цитирования: *Майоров Н. Н.* Исследование работы морских пассажирских терминалов на основе диаграмм связей // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2019. № 1. С. 119–126. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-119-126.

Введение

Современные процессы в экономике напрямую влияют на развитие и изменения морских портов, терминалов и транспортных систем. Необходимо отметить, что любой морской пассажирский терминал исторически сформировывался и функционирует под воздействием определённого набора уникальных факторов, которые и определяют сегодня уникальность порта. Ввиду внедрения новых интеллектуальных систем на транспорте, внедрения систем мониторинга движения транспортных средств, тенденции к увеличению размеров круизных судов и ряда других, современные требования к работе морских пассажирских терминалов увеличиваются. Время на принятие решений сокращается. Именно под воздействием изменений внешней среды, зачастую выступающей стимулом, начинается процесс обновления инфраструктуры пассажирских терминалов, запуска механизмов привлечения новых паромных и круизных линий в порт. Ключевыми условиями стабильного функционирования порта является рост туристической привлекательности региона, увеличение числа пассажиропотока и сопутствующего грузопотока между портами, и как следствие, будет увеличение интенсивности заходов круизных и паромных судов. Портовая инфраструктура должна быть готова обработать входной поток судов без сбоев и возможных задержек. Поэтому в данном ключе крайне актуальной является

задача оперативного прогнозирования количества круизных судов и оценки загрузки. В работах [1–3] представлены математические модели и на их основе решена задача прогноза интенсивности круизных и паромных судов на 2018–2019 гг. для АО «Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад». Представленная реализованная задача в классе полиномиальных моделей [1] и условия достижения точности прогнозирования могут использоваться при любом необходимом интервале прогнозирования. В случае изменения параметров внешней среды необходимо производить перерасчёт. При этом полученные зависимости содержат информацию, на основе которой можно оценивать только конкретный заданный пассажирский терминал.

Объектом исследования является регион Балтийского моря. Для исследования изменений в системе необходимо формировать подход к единому макрорегиону, состоящему из пассажирских портов государств – членов Европейского союза и Российской Федерации. Регион Балтийского моря крайне разнообразен в смысле экономики, окружающей среды и культуры, однако страны во многих случаях используют общие (совместные) ресурсы и являются взаимозависимыми. Под Балтийским макрорегионом будем подразумевать комплексный международный регион, включающий всю совокупность видов экономической деятельности и представляющий собой сетевую модель сотрудничества с наличием как горизонтальных, так и вертикальных связей [4]. Пассажирские и сопутствующие грузопассажирские морские перевозки на Балтийском море выступают как системообразующие элементы Балтийского транснационального макрорегиона. В выбранном регионе усилиями 52 морских портов из 184 оказываются услуги как по круизной, так и паромной перевозке пассажиров. При этом можно отметить тенденцию к изменению интересов у туристов, вызванную увеличением внимания к культурному слою северных стран. За последние три года наблюдается значительное увеличение круизных линий, которые добавляют в свои маршруты порты Балтийского моря. Как следствие, любые действия или новые транспортные решения, предпринятые в одной стране Балтийского региона, могут очень быстро оказать влияние на развитие других территорий или всего региона в целом, причём как положительно, так и отрицательно. Ввиду тесной взаимосвязи с другими пассажирскими портами, в Балтийском регионе необходимо наличие инструментария, который бы позволял полученные результаты связать с данными по другим портам и определять взаимное влияние.

Условия формирования выборки морских пассажирских терминалов в Балтийском море

Согласно аналитическим отчётам [5–7], исходное количество портов в Балтийском море следующее: Финляндия – 34, Россия – 7, Дания – 48, Латвия – 6, Польша – 7, Эстония – 6, Германия – 16, Швеция – 60 портов. При этом паромные перевозки пассажиров развиты не на всей территории, прилегающей к Балтийскому морю, на что указывает тот факт, что только 52 порта из 184 участвуют в организации подобных перевозок. На основе имеющихся данных интенсивным морским пассажирским сообщением между странами [8, 9] является треугольник Швеция – Финляндия – Эстония. Наиболее интенсивные линии: Хельсинки – Таллин; Стокгольм – Мари-ехамн на Аландских островах – Турку, а также Стокгольм – Хельсинки и Стокгольм – Таллин. В этом же районе проходят круизные линии из Санкт-Петербурга в Хельсинки и Стокгольм. Ряд пассажирских и грузопассажирских паромов соединяет Швецию с Польшей, Литвой и Латвией. В работе [10] представлено решение задачи маршрутизации для круизных и паромных линий в границах Балтийского моря и приведён методологический анализ возможных изменений. Для решения задачи исследования работы системы «морской пассажирский терминал – паромная линия» необходимо ввести следующие ограничения:

1. Из множества портов в регионе выбираются только пассажирские терминалы;
2. Производится ранжирование терминалов по интенсивности судозаходов;
3. При анализе статистики работы каждого порта выбираются данные, взятые в близкий момент времени, ввиду возможных различных выборок, и данное дискретное состояние выбирается как основное при T_0 ;
4. Исходные терминалы образуют два массива данных:
– первый массив является одномерным и состоит из пассажирских терминалов n :

$$F_{\text{пасс. терм}}(N_i) = \left\{ F_{\text{Helsingborg}}; F_{\text{Elsinore (Helsing)}}; F_{\text{St. Petersburg}}; \dots; F_{\text{Copenhagen}} \right\},$$

где $F_{St. Petersburg}$ – количество заходов в порт; N – число пассажирских терминалов в выборке;
 – второй массив является двумерным массивом, элементы которого отражают интенсивности круизных и паромных судов между заданными портами в выбранный дискретный момент времени. На практике вводятся значения как прямых, так и обратных маршрутов:

$$F_{\text{пасс. линии}}(F_i, F_j) = \left\{ \begin{array}{cc} N_{00}(F_{Helsingborg}, F_{Helsingborg}) & N_{01}(F_{Helsingborg}, F_{St. Petersburg}) \\ N_{10}(F_{St. Petersburg}, F_{Helsingborg}) & N_{11}(F_{St. Petersburg}, F_{St. Petersburg}) \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \end{array} \right\},$$

где F_i – порт отправления; F_j – порт назначения; $N(F_{St. Petersburg}, F_{Helsingborg})$ – числовое значение интенсивности судов в заданный дискретный момент времени между пассажирскими терминалами;

5. Интенсивности круизных и паромных судов принимаются взятыми в выбранный момент времени T_0 . При решении прогнозирования любой заход круизного судна в порт принадлежит полной группе событий

$$\sum_{i=1}^N PF_{\text{пасс. линии}}(F_i, F_j) = 1.$$

На основании формирования условия полной группы событий определяются границы выборки.

На основании анализа интенсивности заходов в пассажирские порты можно выделить следующие наиболее значимые терминалы: *Helsingborg, Elsinore, Helsinki, Stockholm, Puttgarden/Fehmarn, Tallinn, Turku, Mariehamn, St. Petersburg, Rostock, Gothenburg, Ystad, Trelleborg, Kiel, Copenhagen* и ряд других.

Применение круговых диаграмм связей

При выполнении вышепредставленных условий открывается возможность практического построения круговых диаграмм связей. При выполнении анализа интенсивностей работы транспортной системы или загруженности узлов широко используется функционал, чаще всего представленный в графическом или табличном виде или реже – в форме двухфакторных (многофакторных) функций. Но данный путь не позволяет проанализировать всю систему комплексно на макроуровне, в данном случае с учётом выбранных пассажирских терминалов. Данный путь позволяет использовать системную динамику как метод исследования поведения системы. Системная динамика представляет собой совокупность принципов и методов анализа динамических управляемых систем с обратной связью и их применения для решения технических задач на основе потоковой диаграммы. Но системная динамика может использоваться только при исследовании взаимодействия двух терминалов.

С другой стороны, круговая диаграмма связей является инструментарием, основанным на определении логических взаимосвязей между различными данными имеющейся системы. Как правило, диаграмма связей используется совместно с диаграммой сродства, т. к. позволяет выстроить выявленные с её помощью причины в логическую цепочку. В свою очередь диаграмма сродства предназначена для группирования и упорядочивания большого количества исходных данных. Группирование происходит по принципу однотипности информации. В нашем случае данная диаграмма уже определена одномерным массивом имеющихся пассажирских терминалов и наличием существующей маршрутной сети в выбранный дискретный момент времени.

При таком подходе диаграмма связей обеспечивает структурированный подход к анализу комплексных взаимодействий между пассажирскими терминалами, что является её сильной стороной. При этом на своих элементах диаграмма позволяет размещать дополнительную аналитическую информацию, такую как интенсивности работы, загруженность, возможные сбои и другие качественные показатели для терминала, школы и другие процентные данные. Основным элементом диаграммы является круг, который циклически объединяет другие элементы. В случае наличия двух направлений между пассажирскими портами, имеющих различные интенсивности, вводится единая дуга, которая отображает сразу оба направления (рис. 1).

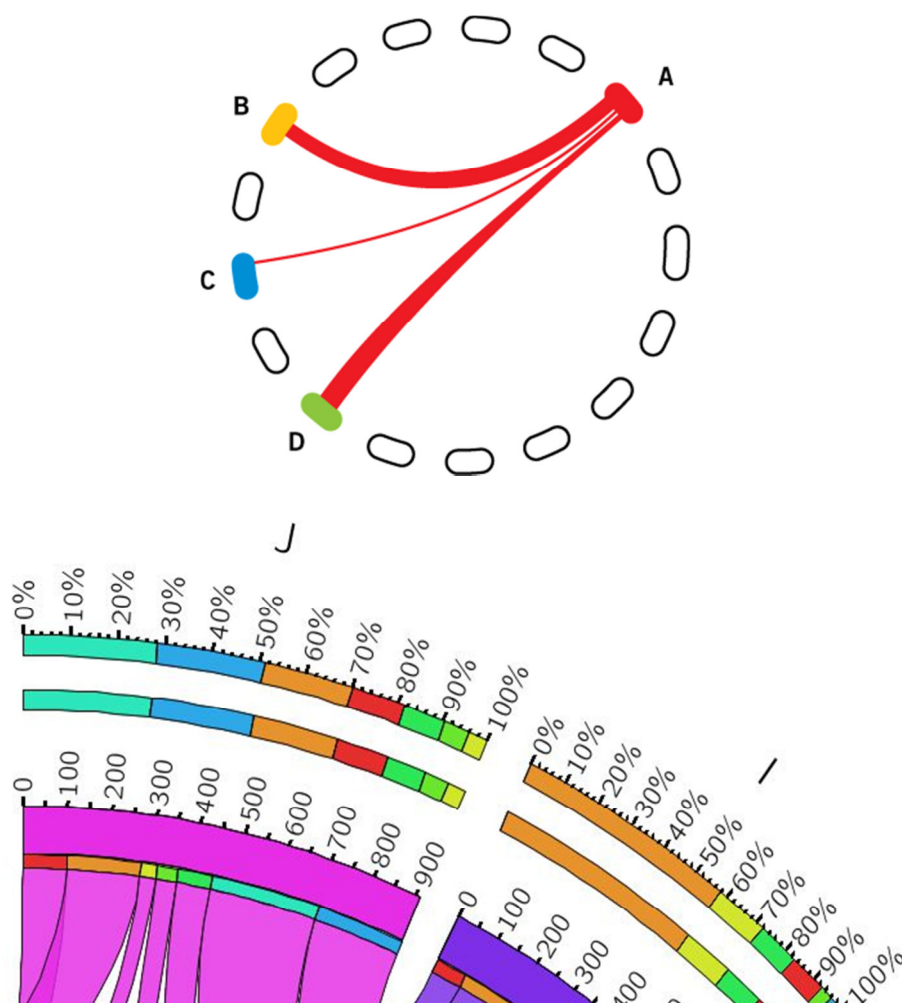


Рис. 1. Внешний вид круговой диаграммы связей для исследования морских пассажирских терминалов

На основе применения данных диаграмм открывается возможность на качественно новом уровне представить взаимодействие систем «морской пассажирский терминал – круизная/паромная линия» и при изменении данных с течением времени установить взаимное влияние на другие пассажирские порты в Балтийском регионе.

Практическое построение круговой диаграммы связей для системы морских пассажирских терминалов

В качестве интервала времени исследования выберем интенсивности паромного сообщения с 12 по 18 ноября 2018 г. Ограничим выборки четырьмя пассажирскими терминалами: «Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад», терминалы Хельсинки, Таллина и Стокгольма. Интервал времени может, конечно, варьироваться в зависимости от задач исследования. Исходные данные выбираются из расписаний судозаходов круизных и паромных судов, находящихся в открытом доступе [11]. За основу выберем порт Таллин с учётом всех его терминалов (A, B, D). Исходные данные, взятые на момент времени 18 ноября 2018 г., представим в табличном виде (табл.).

Интенсивности паромных судов с 12 по 18 ноября 2018 г.

| Пассажирские терминалы | <i>Helsinki</i> | <i>Stockholm</i> | <i>St. Petersburg</i> | <i>Tallinn</i> |
|------------------------|-----------------|------------------|-----------------------|----------------|
| <i>Tallinn</i> | 15 | 3 | 0 | 0 |
| <i>Helsinki</i> | 0 | 0 | 2 | 14 |
| <i>Stockholm</i> | 3 | 0 | 0 | 2 |
| <i>St. Petersburg</i> | 2 | 0 | 0 | 1 |

Представленные значения интенсивностей определяют полную группу событий. Новых динамических данных в системе не будет добавлено. Исходные табличные данные преобразуются в матричную форму, и в результате получается искомая кольцевая диаграмма связей с учётом анализа долей маршрутов по направлениям (рис. 2).

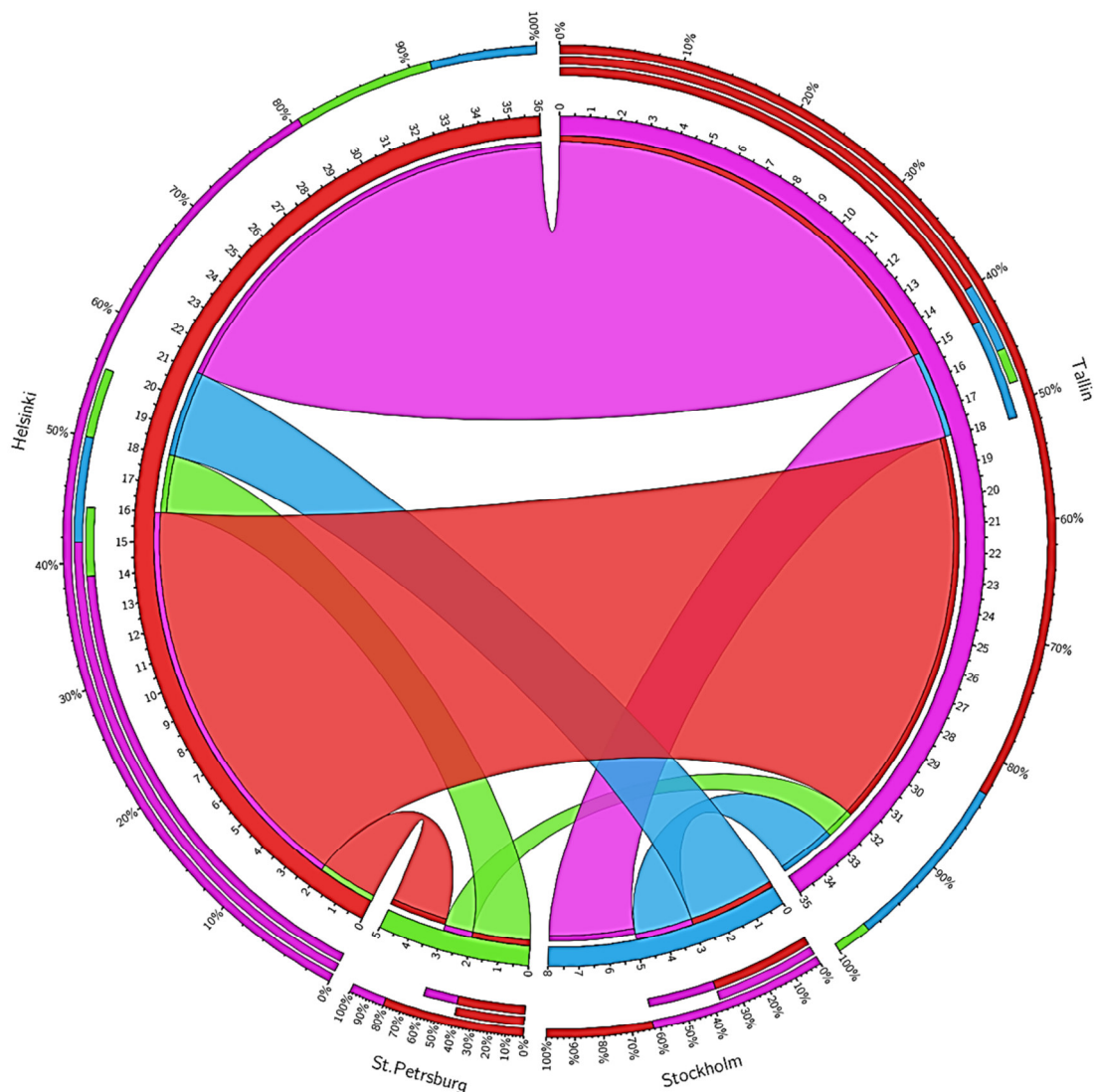


Рис. 2. Итоговая диаграмма связей интенсивностей паромного движения между системой портов Санкт-Петербург («Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад») – Пассажирские терминалы порта Таллин – Пассажирские терминалы порта Хельсинки – Пассажирские терминалы порта Стокгольм

На основе исходных данных формируется специализированный файл, который загружается в инструментальную среду Circus [12].

На основании анализа рис. 2 можно сделать вывод, что наибольшая загруженность на данный момент находится между пассажирскими терминалами Хельсинки – Таллин. Представленная информация содержит и аналитическую информацию о взаимном влиянии портов, изображённую в виде соответствующих круговых шкал. Данный аналитический материал позволяет прогнозировать принятие решений уже на макроуровне планирования, т. к. представляет и информацию о взаимном влиянии терминалов. В результате использование круговых диаграмм связей позволяет на макроуровне исследовать работу системы «морской пассажирский терминал – паромная линия».

Обсуждение результатов

При исследовании работы морских пассажирских терминалов необходимо получение максимально возможной аналитической информации, данных по интенсивностям движения круизных и паромных судов, информации по количеству пассажиров, маршрутам и другой информации. На основе имеющихся данных в первую очередь решаются задачи прогноза, и уже затем лицом, принимающим решение, на её основе строятся оптимизационные модели. Особенностью процессов является наличие прямой зависимости количества судов, пропорционального количества пассажиров и учёта влияния внешней экономической среды. Исходные данные чаще всего представляют собой набор таблиц, которые определяют взаимозависимости двух переменных, реже присутствуют двухфакторные функции. Для микроуровня вполне достаточно табличных данных. Но лицу, принимающему решение, в настоящее время необходимо исследовать взаимное влияние между многими переменными, что достаточно трудно решить при наличии только разрозненных таблиц. Задача значительно усложняется при переходе с микроуровня морских систем (к примеру, когда есть только один пассажирский терминал) к макроуровню, представляющему собой систему пассажирских терминалов в регионе. Для анализа работы всей системы пассажирских портов и терминалов необходимо использование круговых диаграмм связей. Именно благодаря им появляется возможность исследовать закономерности системных изменений, что исключено при работе с табличной формой.

Актуальной задачей является исследование работы всей системы морских пассажирских терминалов и паромных линий. При этом необходимо выполнение ряда ограничений, направленных на представление полноты исходных данных и формализации границ регионов. Получая комплекс диаграмм, можно оперативно выполнить пересчёт прогноза на основе новых входных данных и оперативно находить условия, обеспечивающие уравнивание входной интенсивности судов и имеющейся портовой инфраструктуры.

Выводы

На основе потребности в комплексном исследовании работы морских пассажирских терминалов, анализа их взаимного влияния в Балтийском море обоснована необходимость использования круговых диаграмм связей. Для получения правильных результатов моделирования необходимо выполнение ряда условий и ограничений. При формировании исходных данных обоснован дискретный подход. Все имеющиеся данные должны образовывать полную группу событий, полностью описывающих взаимодействие «морской пассажирский терминал – паромная линия» в выбранный дискретный момент времени. Обоснован круг задач для макроуровня исследования морских портовых систем. Рассмотрены особенности круговых диаграмм связей, их положительные и отрицательные стороны. На основании исходных данных была сформирована усечённая выборка терминалов («Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад», терминалы пассажирских портов Таллина, Стокгольма и Хельсинки), и с учётом реальной интенсивности паромного движения была реализована матричная форма представления исходных данных, затем построена искомая диаграмма связей, которая позволяет оценить взаимное влияние терминалов. Предложенный путь исследования можно использовать для любого числа пассажирских терминалов, а модель можно масштабировать. При формировании системы из данных диаграмм, построенных через выбранный интервал времени, открывается возможность обосновывать системные изменения, что невозможно определить, работая с разрозненными таблицами. Полученный результат должен использоваться совместно с прогнозированием в классе полиномиальных моделей, тем самым способствуя решению задачи обеспечения необходимых портовых мощностей и обоснованной модернизации инфраструктуры морских пассажирских портов и терминалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майоров Н. Н. Прогнозирование процессов морского пассажирского терминала в классе полиномиальных моделей // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2018. № 3. С. 113–122.
2. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования. М.: Статистика, 2007. 199 с.
3. Басовский Л. Е. Прогнозирование и планирование в условиях рынка. М.: Финансы и статистика, 2002. 345 с.

4. *Пассажирский* порт Санкт-Петербург «Морской фасад» (ред. от 01.11.2018). URL: <https://www.portspb.ru/> (дата обращения: 15.11.2018).
5. *Межевич Н. М.* Балтийский регион и Россия на Балтике: специфика позиционирования. URL: <https://www.ut.ee/ABVKeskus/sisu/publikatsioonid/2004/pdf/VF-B.pdf> (дата обращения: 15.11.2018).
6. *Baltic Port list 2011.* Annual cargo statistic of ports in the Baltic Sea region. Turku: University of Turku, Center for maritime studies, 2012. 120 p.
7. *Baltic Port Barometer 2012.* URL: <http://www.sadamateliit.ee/avalik-teave/Baltic-Port-Barometer-2012> (дата обращения: 15.11.2018).
8. *Baltic ports volumes in 2009* // Baltic Transport Journal. 2010. N. 4. P. 28–33.
9. *HELCOM.fi.* URL: <http://maps.helcom.fi/website/AISexplorer/> (дата обращения: 01.05.2018).
10. *Майоров Н. Н.* Методологический базис организации сети морских пассажирских перевозок // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2018. № 2. С. 28–37.
11. *Port Tallinn.* URL: http://www.ts.ee/passenger_ship_schedule.php?suund=lahkuvad&sadam=hel&k=2 (дата обращения: 12.11.2018).
12. *Circus.* URL: <https://sourceforge.net/projects/jcirkos/> (дата обращения: 12.11.2018).

Статья поступила в редакцию 20.11.2018

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Майоров Николай Николаевич – Россия, 190000, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры системного анализа и логистики; sciencesuai@yandex.ru.



RESEARCH OF FUNCTIONING OF MARITIME PASSENGER TERMINALS WITH APPLICATION OF MIND MAPS

N. N. Maiorov

*Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
Saint-Petersburg, Russian Federation*

Abstract. It is impossible today to investigate separately sea passenger terminals and the operation of ferry or cruise lines. It is necessary to investigate the mutual influence, analyze the intensity, take into account the influence of the external environment and solve some forecasting problems. This situation justifies the need to use new tools and models that allow analyzing the macro level that consists of all the ports in the region and available ferry lines. The class of polynomial problems has proved to be useful for solving short-term forecasting problems. Taking into account the mutual influence between terminals and between ferry lines, the task becomes much more complicated. In the research of processes the discrete characters of the initial data, schedules of ship calls, schedules that need to be consolidated into a single array of data are favored. The process of functioning of an individual terminal with varying degrees of accuracy can be represented as a sequence of several typical design points, each of them corresponds to a change in a certain set of characteristics and number of ship calls. When solving problems at the macro level, it is proposed to use circular diagrams of relations. The construction of this diagram is associated with the fulfillment of certain boundary conditions, the fulfillment of which allows one to define the boundaries of the study and to form the completeness of the initial data. Sea passenger terminals of the Baltic Sea and the existing ferry lines were selected for the object of the study. On the basis of the initial data, transformations were carried out and a circular diagram of relations was constructed taking into account the analysis of the mutual influence of terminals on each other. The obtained results make it possible to improve the quality of decision making as the presentation of the macro planning level of the “marine passenger terminals - ferry lines” system is formed.

Key words: sea passenger terminal, ferry service, cruise, sea port, cruise line intensities, port congestion.

For citation: Maiorov N. N. Research of functioning of maritime passenger terminals with application of mind maps. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2019;1:119-126. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-119-126.

REFERENCES

1. Maiorov N. N. Prognozirovaniye protsessov morskogo passazhirskogo terminala v klasse polinomial'nykh modelei [Forecasting the processes of a sea passenger terminal in the class of polynomial models]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2018, no. 3, pp. 113-122.
2. Chetyrkin E. M. *Statisticheskie metody prognozirovaniia* [Statistic method of forecasting]. Moscow, Statistika Publ., 2007. 199 p.
3. Basovskii L. E. *Prognozirovaniye i planirovaniye v usloviikh rynka* [Forecasting and planning in market conditions]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2002. 345 p.
4. *Passazhirskii port Sankt-Peterburg «Morskoi fasad»* (redaktsiia ot 01.11.2018) [Passenger port Sankt-Petersburg “Sea Façade”]. Available at: <https://www.portspb.ru> (accessed: 05.05.2018).
5. Mezhevich N. M. *Baltiiskii region i Rossiia na Baltike: spetsifika pozitsionirovaniia* [The Baltic region and Russia in the Baltic Sea: specific positioning]. Available at: <https://www.ut.ee/ABVKeskus/sisu/publikatsioonid/2004/pdf/VF-B.pdf> (accessed: 15.11.2018).
6. *Baltic Port list 2011. Annual cargo statistic of ports in the Baltic Sea region*. Turku, University of Turku, Center for maritime studies, 2012. 120 p.
7. *Baltic Port Barometer 2012*. Available at: <http://www.sadamateliit.ee/avalik-teave/Baltic-Port-Barometer-2012> (accessed: 15.11.2018).
8. Baltic ports volumes in 2009. *Baltic Transport Journal*, 2010, no. 4, pp. 28-33.
9. *HELCOM.fi*. Available at: <http://maps.helcom.fi/website/AISexplorer/> (accessed: 01.11.2018).
10. Maiorov N. N. Metodologicheskii bazis organizatsii seti morskikh passazhirskikh perevozok [Methodological basis of organizing the system of sea passenger transportations]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya*, 2018, no. 2, pp. 28-37.
11. *Port Tallinn*. Available at: http://www.ts.ee/passenger_ship_schedule.php?suund=lahkuvad&sadam=hel&k=2 (accessed: 01.11.2018).
12. *Circus*. Available at: <https://sourceforge.net/projects/jcircos/> (accessed: 01.11.2018).

The article submitted to the editors 20.11.2018

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Maiorov Nikolai Nikolaevich – Russia, 190000, Saint-Petersburg; Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Systems Analysis and Logistics; sciencesuai@yandex.ru.

