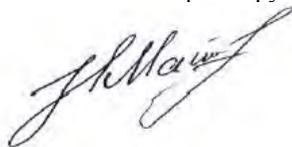


На правах рукописи



**МАЙОРОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ**

**ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ МОРСКОГО ПАССАЖИРСКОГО  
ПОРТА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность

05.22.19 – Эксплуатация водного транспорта, судовождение  
(технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Научный консультант доктор технических наук, профессор  
Фетисов Владимир Андреевич

Официальные оппоненты: Маликова Татьяна Егоровна  
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского», профессор кафедры теории и устройства судна  
Афонин Петр Николаевич  
доктор технических наук, доцент, Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал государственного казенного образовательного учреждения высшего образования «Российская таможенная академия», заведующий кафедрой технических средств таможенного контроля и криминалистики  
Гатчин Юрий Арменакович  
доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО», профессор факультета безопасности информационных технологий

Ведущая организация:  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова»

Защита состоится «21» апреля 2020 года в 14-30 ч. на заседании диссертационного совета Д223.009.05 при ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова» по адресу: 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7, ауд. 235а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова:

[https://gumrf.ru/naudejat/gna/dissov\\_22300905/zd22300905/](https://gumrf.ru/naudejat/gna/dissov_22300905/zd22300905/)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Изотов Олег Альбертович

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы исследования.** Одной из важнейших стратегических задач в принятии целевых программ по развитию транспортных систем является удовлетворение потребностей российской экономики, торговли и населения в перевалке грузов, в организации качественных пассажирских перевозок, в обеспечении безопасности транспортных процессов, формирование новой транспортной сети, открытие новых перспективных направлений развития транспорта. Для достижения данных целей предлагается формирование инновационной инфраструктуры пассажирских терминалов с последующей интеграцией их в транспортные узлы. Большое влияние на решение проблем, стоящих перед водным, воздушным и другими видами транспорта, оказывают методы управления перевозками, в том числе пассажирскими, как внешними, так и внутренними, на различных уровнях транспортных систем. Поэтому практические исследования в области совершенствования управления транспортными терминалами и узлами, как составной частью транспортной системы, играют ключевую роль в повышении объемов и качества услуг, оказываемых на транспортных направлениях.

Помимо этого, развитие терминальной инфраструктуры требует значительных финансовых вложений, что предопределяет высокую цену ошибочного принятия решения по строительству или модернизации. Морские пассажирские терминалы, построенные без проведения прогнозного анализа рыночной ситуации и востребованности транспортных продуктов, могут оказаться убыточными, что приведет к моральному устареванию инфраструктуры и потери пассажиропотока. Пассажирские терминалы находятся также в зависимости от развития транспортной доступности терминала, что зачастую предопределяет эффективность работы всей портовой системы.

Сегодня наблюдается значительное увеличение объемов морских и речных пассажирских перевозок. Данная транспортная отрасль сегодня находится в обновлении, наблюдается строительство новых морских терминалов и модернизация существующих. Необходимо отметить, что сегодня присутствует очень небольшое количество именно морских пассажирских портов. С другой стороны наблюдается расширение направлений существующих пассажирских морских маршрутов и постоянное открытие новых направлений. По мере возникновения нового круизного маршрута в систему пассажирских портов и терминалов постоянно добавляются новые порты, предоставляется возможность ознакомить пассажиров с большим культурным слоем региона, что позволит повысить пассажиропоток и увеличить прибыльность терминалов и региона. Именно поэтому особое внимание в развитии морской портовой инфраструктуры до 2030 года уделяется инфраструктуре морских пассажирских портов и терминалов. Данная тенденция также обусловлена особым географическим положением России. Занимая центральную часть Евразийского континента, Россия играет роль геополитического связывающего моста между странами Запада и Востока. Особую значимость для России, в аспекте

транспортных коридоров, приобрел Северо-Западный регион. Балтийский регион для России представляет собой короткий морской вход в Европу. Сегодня через порты Северо-Западного региона проходит большое количество транзитных грузов и если для грузопотока в регионе созданы благоприятные условия, то пассажирские порты находятся в стадии модернизации, становятся точками роста индустрии, точками формирующими новые требования к инфраструктуре. По мере развития и введения новых морских портовых пассажирских терминалов, расширяются возможные маршрутные направления и увеличивается возможность обосновать необходимость инфраструктурных изменений и модернизаций, связывающих пассажирские порты и наземную транспортную инфраструктуру.

В то же время необходимо отметить, что развитие российских морских пассажирских терминалов идет с отставанием от других терминалов на Балтике, таких как терминалы Таллиннского порта (D-терминал), терминал Вяртахамн в Стокгольме (Швеция), терминалы в Хельсинки (Южный терминал, Западный терминал-1, Западный терминал -2) и Турку, рижский пассажирский порт (г. Рига), терминал Мариехамн и ряд других. В условиях конкурентной борьбы за пассажирские потоки портам приходится существовать и реализовывать свои инфраструктурные возможности. Поэтому без создания в пассажирском порту отлаженной современной технической схемы организации обработки пассажиропотоков совместно с развитием маркетинговой составляющей региона и внедрение информационных технологий невозможно не только выиграть конкурентную борьбу, но и значительно продвинуться в международных рейтингах. Так как активным элементом в такой системе является пассажир, со своими интересами и целевыми установками, то необходимо комплексно подходить к вопросам продвижения и модернизации морских пассажирских терминалов. Под влиянием тенденции мобильности населения, организации самостоятельных путешествий необходима слаженная работа, как околопортовой наземной инфраструктуры, так и системы по продвижению круизных и паромных продуктов.

Наиболее важной и сложной задачей является оптимизация процессов в морском пассажирском порту или терминале, оперативное управление, планирование и прогнозирование развития для качественного принятия решений по модернизации инфраструктуры и сохранения уровня прибыльности. Как уже хорошо известно, одним из условий успешного развития системы морских пассажирских перевозок и модернизации инфраструктуры является оптимальное использование ресурсов (персонал, комплекс специальных технических средств, обслуживающих пассажиропоток и обеспечивающих транспортную безопасность, обслуживающие службы и подразделения, внутренний транспорт, технические средства и другие) на пассажирских терминалах.

Среди основных направлений развития для морских портов и пассажирских терминалов выделяют следующие:

- повышение качества услуг для пассажиров и грузопассажирских потоков;
- разработка многоуровневой и многофункциональной автоматизированной информационной системы управления работой и развития морских пассажирских портов;
- развитие международных пограничных переходов, обеспечивающих ускорение обработки и комфортные условия для пассажиров круизных и паромных судов;
- создание крупных терминалов в наиболее важных приморских городах, обеспечивающих большой пассажиропоток;
- создание стратегии скоординированного развития морских пассажирских терминалов, что неминуемо приведет к становлению рынка морских пассажирских перевозок;
- достижение стабильных показателей работы рынка как морских, так и внутренних пассажирских перевозок;
- преобразование из отдельного морского пассажирского терминала в крупный пересадочный узел.

Морской пассажирский порт и терминал является уникальным транспортным объектом. Ввиду широкого охвата вопросов социально-экономических, транспортных и инфраструктурных, технических, вопросов организации работы, эффективного управления и учета влияния окружающей среды к исследованию необходимо применять новые модели и методы на основе системного многокритериального анализа.

Морская терминальная система находится под непрерывным влиянием окружающей среды, мировой геополитической ситуации, что значительно усложняет разработку долговременной эффективной системы принятия решений по эффективному управлению и стратегическому долгосрочному прогнозированию. Ввиду географических особенностей приморских городов, каждый новый пассажирский терминал содержит набор уникальных параметров, имеет определенный инвестиционный потенциал, особенные условия функционирования, которые необходимо развивать и усиливать. Такое развитие будет способствовать увеличению спроса, пассажиропотока, и как результат – увеличению экономических показателей региона.

Морские пассажирские порты и терминалы невозможно исследовать без учета влияния мегаполиса, города, околотерминального пространства и влияния имеющегося ближайшего терминала в другой стране или регионе. Любой порт или терминал стремится достигнуть наилучшей транспортной доступности и комфорта для пассажиров, вводя новые сервисы и услуги. Именно поэтому наблюдается бурное развитие городской инфраструктуры возле морских портов. В связи с этим можно, с некоторыми ограничениями, вводить понятие пересадочного узла, которыми становятся крупные бурно развивающиеся морские пассажирские терминалы и порты.

Для того чтобы обеспечить конкурентную привлекательность, конкурентную пропускную способность российских пассажирских портов и терминалов, необходимо акцентировать внимание на выявлении и ликвидации «узких мест», прежде всего в транспортных узлах, соединяющих транспортные водные маршруты и имеющуюся наземную инфраструктуру. В свою очередь, для выявления и анализа причин возникновения узких мест необходимо вводить новые модели и методы систем управления, более шире использовать аналитический аппарат построения целевых функций, методики прогнозирования с учетом изменяющегося влияния на терминал со стороны окружающей среды. Только в этом случае откроется возможность российским портам стать новыми центрами круизной индустрии. Данное обстоятельство актуализирует необходимость разработки моделей прогнозирования, методов и комплексов мер по обеспечению стратегического развития и взаимодействия системы «круизная линия – пассажирский терминал – мегаполис».

При анализе соответствующего сегмента можно сформировать единое поле транспортно–логистических услуг и сформировать модель и методику исследования всей системы терминалов. Для достижения данной задачи необходимы следующие шаги:

- стремление к внедрению интеллектуальных транспортных систем в работу морских пассажирских портов и терминалов;
- проведение работ по поэтапному изменению роли морского пассажирского терминала, созданию из морского пассажирского терминала крупного транспортного пересадочного узла, позволяющего пассажиру в период навигации, формировать выбор различных видов транспорта для достижения центра города;
- выработка новых механизмов взаимодействия «пассажирский порт – паромная линия», «пассажирский порт – круизная линия», «пассажирский порт – мегаполис»;
- проведение работ по построению единого информационного поля участников пассажирских перевозок.

Решение перечисленных выше задач планирования невозможно без прогнозирования развития и без прогнозирования операционной работы пассажирских терминалов и портов с использованием новейших интеллектуальных информационных средств и технологий. При выборе моделей и методов необходимо основываться на наличии дискретного характера статистических данных, образующих исходные данные для последующего анализа.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросы теории и практики развития терминалов стали активно исследоваться с середины прошлого века, результатом чего явилось создание многочисленных моделей эволюции терминалов. На основе ретроспективного анализа развитие морских терминалов и портов на разных исторических этапах происходило

под влиянием различных внешних сил и ограничений, которые были обусловлены как уровнем развития инфраструктуры и портовыми мощностями, так и влиянием внешней экономической среды. В данных моделях пассажирские терминалы являются некоторой стадией в развитии грузового порта, сформированные в процессе расширения функционала. Исследованиям рынка круизных, перевозок в разных работах уделяли внимание такие авторы, как: А.В. Бабкин, Н.Л. Безрукова, М.Н. Войт, В.А. Дергачев, М.А. Жукова, А.М. Котлубай, С.Г. Нездойминов, С.П. Шпилько, А.Д. Чудновский, Р.В. Чударев, П. Уайльд и другие. Значительный вклад в формирование современного методологического базиса развития портов и терминалов на различных этапах экономического развития общества внесли Д. Берд, Ф. Г. Аракелов, К. Берсефорд, Е. Н. Воевудский, А. В. Кириченко, Д. В. Кочнев, А. Л. Кузнецов, В. А. Логиновский, В. С. Лукинский, О. Б. Маликов, В. Н. Мячин, Т. Ноттебум, А. Ф. Парфенов, В. А. Погодин, М. Я. Постан, А. Л. Степанов, В. И. Сергеев, Б. П. Усанов, В. А. Фетисов, Ю. Хайяз, Я. Я. Эглит, Л. Д. Ветренко, С. Нанипоулуса, В. И. Немчиков и другие ученые и специалисты. Их труды заложили основы экономики, организации и управления пассажирскими перевозками на водном транспорте. При этом выделенные авторы с одной стороны исследовали отрасль через изменения в круизной отрасли и рассматривали экономические вопросы, с другой стороны основывались на изучении портов и инфраструктуры. Признавая высокую научную значимость работ вышеперечисленных авторов, следует отметить, что в них недостаточно внимания уделено важной проблеме исследования морских пассажирских терминалов и планирования процессов работы. Предложенные различными исследователями основные модели в той или иной степени расширяют теоретические положения. В то же время, в современных условиях они постепенно утрачивают свою актуальность для ответа на требуемые практикой вопросы о стратегическом направлении развития конкретного пассажирского порта. При выполнении диссертационного исследования за основу была выбрана академическая наука, в частности представленная школами ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» и ФГАОУ ВО «ГУАП», которые составили впоследствии методологическую основу диссертационной работы.

В исследовании проведен аннотированный библиографический анализ основных отечественных и зарубежных работ, относящихся к тематике диссертационного исследования. Указаны публикации и авторы, внесшие вклад в становление отечественной школы управления развития терминалов, а также наиболее заметные результаты, полученные зарубежными учеными.

В диссертационном исследовании представлены результаты проведенных практических исследований, позволивших выявить и доказать имеющиеся противоречия и обосновать новые результаты. На основании анализа состояния проблемы сформулированы задачи, цели работы и обозначены этапы.

**Цели и задачи исследования.** Целью диссертации является совершенствование планирования и управления процессами в морских пассажирских портах и терминалах, на основе оптимизации их технологических процессов, решение задачи синтеза структуры терминала, решение задачи операционного прогнозирования с учетом влияния внешней среды для обеспечения качественно нового уровня стратегического планирования развития морских пассажирских терминалов, направленного на улучшение сектора морских круизных и паромных перевозок. Получение научных результатов применимых и масштабируемых для пассажирских терминалов на других видах транспорта.

Для достижения указанной цели необходимо решить научную проблему создания методологии прогнозирования, планирования и управления развитием морских пассажирских терминалов в условиях существования внутренних и внешних ограничений, имеющего агрессивного влияния внешней среды, принятия управленческих решений в условиях неопределенности и требований внедрения интеллектуальных систем управления.

Сформулированная цель исследования вытекает из имеющегося противоречия между необходимостью прогнозирования стратегического развития морских пассажирских терминалов для принятия управленческих решений по модернизации инфраструктуры или разработке новых круизных продуктов на рынке, и недостаточно проработанной научно обоснованной методологии прогнозирования и управления развитием пассажирских терминалов, что на практике приводит к интуитивному принятию решений, которые содержат с большой долей вероятности ошибки или не позволяют достичь заданного уровня. Возврат на обратный шаг уже, после начала реализации неправильного решения, будет невозможен.

**Объектом исследования** является пассажирский терминал (морской пассажирский порт или терминал), являющийся сложной системой, и процессы его функционирования.

**Предмет исследования** составляет стратегическое планирование и управление развитием морских пассажирских терминалов, происходящее под воздействием возмущающих и управляющих факторов со стороны современной транспортно–логистической системы и общества, частью которой они является, в условиях необратимости управленческих решений и возможного возникновения особых условий функционирования.

**Научная новизна** исследования заключается в следующем:

- впервые выявлены методологические границы применения существующих математических моделей для стратегического планирования и прогнозирования морских пассажирских портов и терминалов;
- впервые разработаны и апробированы имитационные модели работы морских пассажирских портов и терминалов, основанные на динамическом характере процессов сложных систем, определяющих направление развития терминала под воздействием внутренних ограничений, внешних

факторов транспортно-логистической системы и необратимости управленческих решений;

- впервые реализованы имитационные модели эвакуации пассажиров терминала в случае возникновения чрезвычайной ситуации, основывающиеся на динамическом характере поведения пассажиров;

- впервые представлено формирование задачи синтеза морского пассажирского терминала с учетом влияния внешней среды;

- сформулирован и найден методологический базис формирования сети круизных и паромных маршрутов, основанный на динамическом характере процессов сложных систем;

- впервые сформулированы принципы построения новой методологии планирования и управления морским пассажирским портом на основе агентно-сценарного моделирования;

- определены точки формирования новых проектов по модернизации морских пассажирских терминалов в зависимости от влияния внешней среды и новых вызовов в существующей конкуренции между морскими терминалами за пассажиропоток;

- разработаны рекомендации по стратегическому планированию развития пассажирских терминалов и принятию решений в области управления развитием портов, обеспечивающих повышение достоверности полученных результатов.

В целом новизна результатов обусловлена оригинальной и актуальной проблемой, которая в отличие от других авторов поставлена и решена в виде группы новых научно-обоснованных решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие транспортных комплексов страны, морских пассажирских портов и терминалов.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость состоит в том, что исследование разрешает существующее противоречие между требованиями к управлению морскими пассажирскими терминалами и недостаточностью соответствующего методического инструментария, предлагая средства прогнозирования вариантов стратегического развития и методологию принятия решения. Теоретическая значимость также обосновывается методологическим базисом, который охватывает взаимодействие систем «морская круизная/ паромная линия – морской пассажирский терминал». Результаты диссертационного исследования в теоретической значимости расширяют отдельные области знаний в сфере моделирования пассажиропотоков в терминале, прогнозирования работы пассажирского терминала, эвакуации пассажиров из пассажирского терминала, выделения основных этапов эволюции терминалов с фиксацией переходных состояний.

Теоретическими результатами исследования являются:

- частная методика прогнозирования и оценки различных вариантов организации морских пассажирских терминалов и маршрутной сети паромных и круизных линий на основе использования аппарата дискретизации состояний систем;
- методика моделирования пассажирских потоков в пассажирских терминалах с учетом динамического поведения пассажиров;
- оценка деятельности морских терминалов как стратегических центров развития круизного туризма, формирование математического базиса представляющего стадии развития морских пассажирских терминалов;
- методика моделирования пассажиропотоков и работы служб в пассажирских терминалах (морских);
- методика моделирования поведения пассажиров и работы служб морского пассажирского терминала в случае возникновения чрезвычайной ситуации.

Информационно-эмпирической базой исследования послужили законодательные и нормативно правовые акты Российской Федерации, имеющиеся аналитические данные по пассажиропотоку, судозаходам, маршрутной сети и инфраструктуры морских пассажирских портов и терминалов и авторизованным информационным системам по мониторингу движения круизных, паромных судов и имеющихся геоинформационных систем Балтийского моря.

Практическая значимость состоит в следующем:

- выработка рекомендаций по стратегическому планированию и прогнозированию развития морских пассажирских портов и принятию решений в области управления развитием портов, обеспечивающих повышение качества прогнозирования, достоверности полученных результатов;
- сформированный методологический базис сети морских круизных и паромных линий;
- выявление критических факторов, влияющих на развитие морских пассажирских терминалов;
- разработка частной методики прогнозирования и исследования функционирования системы «морской пассажирский терминал – круизная линия».

Методики и положения исследования реализованы в виде отдельной имитационной программной среды и предназначены как для лиц, принимающих решение по управлению морским пассажирским терминалом, так и при подготовке специалистов для данной отрасли. Полученные результаты реализованы в форме имитационной системы поддержки выбора решений для обоснования планов развития пассажирских терминалов и портов. Эффективность предложенных решений подтверждают акты внедрения. Внедрение комплекса предлагаемых решений позволяет на 30%, на основе результатов практического внедрения разработанных моделей, ускорить получение качественного прогноза и улучшить системы принятия решения по управлению пассажирским терминалом.

Результаты данной диссертационной работы соответствуют пункту 2 (объекты данной специальности), пункту 13 (области исследований) паспорта специальности 05.22.19 – «Эксплуатация водного транспорта, судоходство».

**Методология и методы исследования.** В диссертации обосновано использование прогнозирования развития морских пассажирских портов на основе дискретизации процессов и планирования с применением агентно-сценарного моделирования в части определения его настоящего состояния, стратегического направления развития и желаемого состояния в будущем. Объект исследования представляет собой составную сложную динамическую систему, состоящую из нескольких отдельных систем, взаимовлияющих друг на друга («мегаполис/ город (регион) – морской пассажирский порт – паромная или круизная линия»).

В исследовании применялись эмпирические методы (сбор данных о факторах и ограничениях, влияющих на развитие пассажирских портов, создание базиса статистических данных), теоретические методы (формализация результатов, полученных в ходе испытания моделей, выводы) и экспериментально-теоретические методы (аналитическое обобщение эмпирических результатов, аналитические методы прогнозирования, анализ, синтез структуры морского пассажирского терминала, современные методы имитационного моделирования).

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие положения:

1. Математические модели:

— модель прогнозирования развития морского пассажирского порта на основе дискретизации процессов, обеспечивающая в отличие от классических методов аналитического прогнозирования или теории принятия решений в условиях неопределенности возможность более точного и оперативного принятия решения;

— модель планирования морского пассажирского порта, основанная на новом методе моделирования пассажиропотоков в виде самообучающихся агентов, позволяющая прогнозировать различные сценарии поведения пассажиров и прогнозировать работу служб терминала на различных горизонтах планирования.

2. Методики:

— методика исследования морских пассажирских портов и маршрутной сети круизных/паромных линий как динамической системы, активным элементом которой является пассажир с его личностными интересами и исследованием наземной транспортной инфраструктуры;

— методика планирования работы служб морского пассажирского порта на основе комбинации методов имитационного моделирования, использования логистической функции и учета динамического поведения пассажиров в терминале.

#### **Достоверность полученных результатов.**

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждается:

- использованием теории подобия для соотнесения результатов моделирования и имеющихся статистических значений, составления инвариант подобия применительно к морским пассажирским терминалам;
- сходимостью расчетных величин с имеющимися опубликованными данными по пассажиропотоку и судозаходам;
- использованием апробированных моделей и методов при проведении исследований пропускных способностей;
- использованием дискретно–событийного, агентного, системной динамики видов моделирования для технических систем;
- использованием реальных геоинформационных данных по морским пассажирским портам и данных по расписаниям судозаходов;
- сходимостью расчетных величин, полученных по предлагаемым методикам, с имеющимися натурными и опубликованными данными;
- проведением исследований на основе первоисточников и глубокой проработанности иностранных источников.

**Апробация работы.** Основные теоретические и практические положения диссертационного исследования обсуждались и получили одобрение на следующих международных научных форумах и научно-практических конференциях:

1. Международная научная конференция «Проблемы и перспективы экономики и управления», г. Санкт-Петербург, 2012;
2. 34-я Международная конференция по транспортным системам с международным участием «Автоматизация на транспорте» (Automation in Transportation), г. Дубровник (Хорватия), 2014;
3. Конференция «Развитие экономической науки на транспорте: проблема оптимизации бизнеса», г. Санкт-Петербург, 2016;
4. XV Международная научно-практическая конференция «Логистика: современные тенденции развития», г. Санкт-Петербург, 2016;
5. Международная научно-практическая конференция «Порто-ориентированная логистика – 2016», г. Санкт-Петербург, 2016;
6. Международная научно-практическая конференция, «Дистанционное инженерное образование» (Bulletin of the Unesco department «Distance education in engineering»), г. Санкт-Петербург, 2016;
7. X международная научно-практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения», г. Тюмень, 2017;
8. Международная научно-практическая конференция «Транспортные проблемы» (Transport Problems, 2017), г. Катовице (Польша), 2017;

9. XI международная научно-практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения», г. Тюмень, 2018;

10. XVII Международная научно-практическая конференция «Логистика: современные тенденции развития», г. Санкт-Петербург, 2018.

11. XVIII Международная научно-практическая конференция «Логистика: современные тенденции развития», г. Санкт-Петербург, 2019.

12. XII международная научно-практическая конференция «Организация и безопасность дорожного движения», г. Тюмень, 2019;

13. Международная научно-практическая конференция «Транспортные проблемы» (Transport Problems, 2019), г. Катовице (Польша), 2019;

14. Международная конференция морской науки и технологий NAŠE MORE 2019, г. Дубровник (Хорватия), 2019.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 11 международных и 3 национальных всероссийских научных конференциях.

#### **Публикации по теме диссертационной работы.**

Основные результаты диссертационного исследования изложены в 44 работах автора, среди них 1 монография, 14 статей, входящих в список изданий ВАК Минобрнауки России, 9 публикаций, в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus, 4 свидетельства на электронные ресурсы, разработанные программы, имитационные транспортные модели и сертификаты ЭВМ. Результаты работы также представлены в 16 публикациях в трудах конференций, учебных и учебно-методических пособий. Практические результаты работы также представлены в НИР ГУАП 1.30.19 (регистрационные данные НИОКТР АААА-А19-119032190064-2).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что поставленная в начале исследования цель (совершенствование планирования и управления процессами в морских пассажирских портах и терминалах, на основе оптимизации технологических процессов, решения задачи синтеза структуры терминала, решения задачи операционного прогнозирования с учетом влияния внешней среды, для обеспечения качественно нового уровня стратегического планирования развития пассажирских терминалов, направленного на улучшение сектора морских круизных и паромных перевозок) достигнута.

#### **Структура и объем диссертации.**

Структура диссертационного исследования включает в себя введение, пять глав, заключение, приложений, словарь терминов, библиографический список (212 источников использованной литературы). Общий объем 334 с., в том числе 76 таблиц, 115 рисунков.

**Реализация результатов диссертационной работы.** Материалы диссертационных исследований внедрены в практическую деятельность разработчиков и специалистов профильных предприятий в следующих организациях: СПб ГКУ «Агентство Внешнего Транспорта» (Комитет по транспорту

Санкт-Петербурга), Акционерное общество «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота (ЦНИИМФ) ФГАОУ ВО «ГУАП».

### **Основное содержание работы**

**Во введении** обоснованы актуальность диссертационного исследования, названы его цель и задачи, представлен анализ степени разработки темы в других работах, раскрыты научная новизна и практическая значимость выводов и результатов работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту (научные результаты), приведены сведения о внедрении указанных результатов, а также констатированы методы, примененные в ниже описанном исследовании.

### **Глава 1 «Анализ морских пассажирских портов и терминалов, современного состояния, особенностей развития»**

Для проведения диссертационных исследований необходимо рассмотреть особенности функционирования морских пассажирских портов. В настоящее время для исследования работы портов и терминалов используются в большинстве случаев детерминированные модели, которые, как правило, основаны на графике прихода судна в порт. На данном фундаменте основывается работа остальных служб морского пассажирского терминала. Однако в реальной системе и при прогнозировании нового морского терминала, процесс поступления транспортных средств под обработку носит случайный характер, поэтому применение только детерминированных моделей, моделей линейного программирования может быть оправдано лишь в небольшом интервале времени, на определенном краткосрочном горизонте планирования. В случае повышения туристической привлекательности региона количество круизных судов в сезон навигации должно значительно увеличиться, но точное количество в начале сезона еще неизвестно, поэтому формируется переход к вероятностным моделям. Использование только детерминированных моделей вносит значительную погрешность, что не позволяет использовать данные модели для решения задач оптимизации в полной мере. С другой стороны, модели, основанные на теории массового обслуживания, не позволяют с точностью описать все процессы, проходящие как в пассажирском терминале, так и при обработке круизных судов. К примеру, достаточно сложно описать все процессы формирующие поведение пассажира в терминале. Ввиду уникальности каждого морского пассажирского порта или терминала присутствует нехватка статистических данных как по обработке судов, так и по обработке пассажиропотока. Поэтому было достаточно достоверным предположением использование детерминированных методов как фундамента диссертационного исследования, погрешность которых была сравнима с погрешностями вероятностных методов.

Исследование процессов морского пассажирского порта невозможно рассматривать без учета взаимного влияния как города-мегаполиса и его инфраструктуры, так и круизной либо паромной линии (перевозчика). Данный аспект определяет сложность идентификации ключевых переменных, на основании которых можно определить единые целевые функции портовой системы. В современной ситуации недостаточно выстраивать целевую функцию только через призму времени обработки судов и повышения объема пассажиропотока. Должны развиваться как прилегающая городская инфраструктура, так и, сами процессы обработки пассажиров в терминале.

Объектом исследования были выбраны морские порты и пассажирские терминалы Санкт-Петербурга. На основании общего пассажиропотока по всем пассажирским портам и терминалам можно сказать, что 2016 г. является некоторым рубежом, после которого прекратился спад пассажиропотока и изменилась роль пассажирских портов Санкт-Петербурга в Балтийском море. На рис. 1 представлен сравнительный график, отражающий самые напряженные месяцы работы Пассажирского порта Санкт-Петербург «Морской Фасад» с 2013 по 2017 гг.

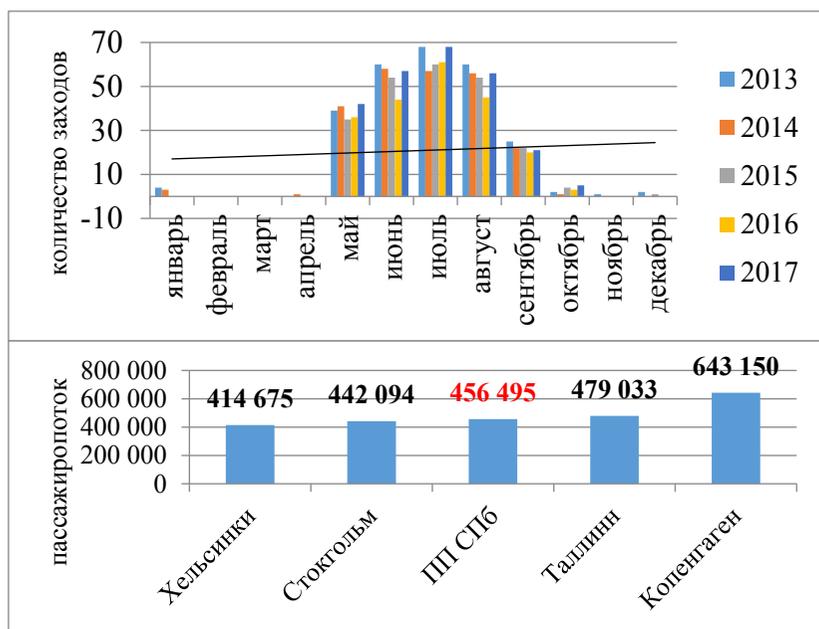


Рисунок 1 – Интенсивности круизных и паромных судов по месяцам за период 2013-2017 гг. в пассажирском порту «Морской Фасад»(г. Санкт-Петербург), пассажиропоток в выбранных портах

На основании установившейся тенденции (рисунок 1) увеличения пассажиропотока и судозаходов можно утверждать, что терминалы Санкт-Петербурга становятся новой точкой развития круизной индустрии в Балтийском регионе. Наблюдается увеличение количества различных круизных компаний и происходят изменения в маршрутной сети в сторону увеличения и разнообразия направления для пассажиров.

Несмотря на положительную динамику пассажирским портам и терминалам, чтобы сохранить данный тренд, необходимо наращивать мощности и внедрять новые технологии. Постоянное обновление и увеличение численности флота круизных линий приводит к росту рынка, вовлекая все большее число регионов в качестве новых источников пассажиров и новых круизных дистанций. В среднем ежегодный процент прироста перевезенных пассажиров за последние три года составлял около 4% (более полумиллиона человек в год). Общее число перевезенных пассажиров круизными линиями в 2017 г. составило более 25 млн. человек. Наблюдается мировая тенденция и в увеличении круизного и паромного флота. На рисунке 2 представлены прогнозные значения, согласно данным агентства CINN 2018 EUROPE. European Cruise Lines, потенциала рынка круизных и паромных перевозок.

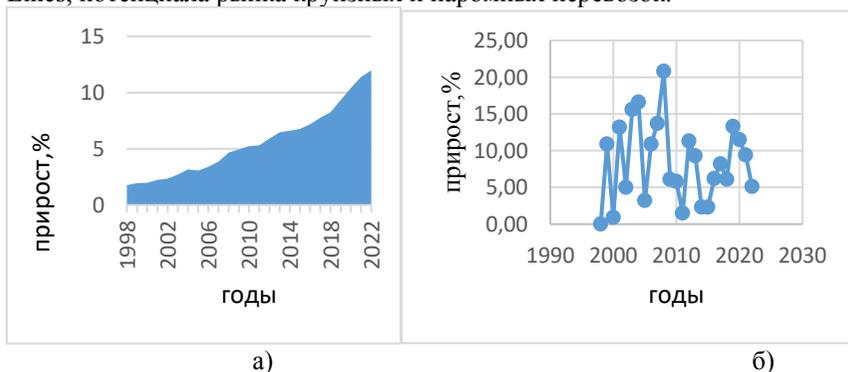


Рисунок 2 – Прогнозные значения потенциала рынка перевозок: а) по данным расчета рах; б) приросты и спады по значениям пассажиропотока (млн. чел.) по данным CINN 2018 EUROPE. European Cruise Lines)

Представленная ситуация на рисунке 2 (а, б) определяет необходимость разработки новых моделей и средств для прогнозирования работы морских пассажирских терминалов, повышения точности прогнозирования.

Согласно классическим моделям, при исследовании пассажирского терминала необходимо использовать аппарат систем массового обслуживания, переходить к формированию набора состояний системы, исследованию условий переходов из одного состояния в другое. При этом использование вероятностного аппарата позволяет решить частные задачи определения оптимального количества причалов, количества обслуживающих устройств в терминале, среднего времени ожидания причала, формирование системы

приоритетов в очередях и другие. Принятие допущения о пуассоновском потоке прихода судов и показательном законе распределения времени обработки судна, позволяет использовать для описания процессов пассажирских терминалов аппарат Марковских случайных процессов. Он позволяет описать процесс обработки судна на терминале с помощью линейных дифференциальных уравнений и представить выражения для вероятностных характеристик в аналитическом виде. Решение системы дифференциальных уравнений требует задания граничных условий и условий достижения целевых функций, которые меняются во времени. В модели на основе систем массового обслуживания достаточно трудно включить переменные, характеризующие влияние внешней среды на терминал и круизную линию.

Вследствие тенденции увеличения интенсивностей круизных и паромных судов увеличивается нагрузка на пассажирские терминалы и увеличивается вероятность возникновения сбоев в работе в такие пиковые интервалы. Что еще раз подтверждает необходимость внедрения новых методик планирования.

## **Глава 2 «Системное исследование процессов функционирования морских пассажирских терминалов»**

*Предложено формализованное описание задачи синтеза структуры морского пассажирского порта, выявлена взаимосвязь между процессами порта для построения цифровой транспортной модели, предложена схема управления терминалом с использованием методов моделирования, для повышения точности управления выявлены этапы и исходные данные для решения задачи планирования на основе моделирования.* Применительно к задачам исследования морского пассажирского терминала необходимо применение системного анализа. Система морского пассажирского порта формализовано представляется математической моделью вида

$$\Sigma = (T, \bar{X}, \Omega, \bar{Y}, \Gamma, G, Z, H, F, E_0),$$

где  $\Sigma$  – система морского пассажирского порта или терминала;  $T = \{(t_i, t_{i+1})\}_1^N$  – ось времени, интервалы активности работы порта или терминала;  $\bar{X} = \{x_j\}_1^N$  – множество входной информации (пассажиропоток; судозаходы; график работы служб и подразделений порта);  $\Omega = \{\omega_i\}_1^N, \omega_i \in \Omega, \omega_i$  – оператор ввода,  $\Omega$  – множество входных воздействий;  $\bar{Y} = \{y_i\}_1^M$  – множество результатов (процесс обработки пассажиров, грузопотока и судов);  $\Gamma = \{\gamma_i\}_1^M$  – оператор вывода результатов во внешнюю среду (оператор, отражающий результаты работы порта);  $G = \{g_i\}_1^k$  – функция выхода (алгоритм преобразования входа в выход);

$Z = \{z_i\}_1^k$  – множество внутренних состояний системы пассажирского терминала;  $H = \{h_i\}_1^l$  – функция перехода (алгоритм, процесс использования внутренних ресурсов);  $F = \{f_i\}_1^l$  – функция управления;  $E_0 = \{e_i\}_1^l$  – функция последствий (результат предыдущего действия системы или память системы в виде дискретных состояний уровней развития порта).

Для решения задачи прогнозирования развития морского пассажирского порта необходимо решение задачи синтеза. Задача синтеза системы заключается в определении структуры и параметров портовой системы исходя из исходных требований к значениям показателей эффективности ее функционирования, и способов обеспечения целей функционирования технической системы. При синтезе портовой системы необходимо определять структуру процессов и параметров исходя из требуемых характеристик и условий. Ввиду сложности такой системы в ряде случаев эти требования могут друг другу противоречить и лицу принимающему решение потребуется искать некоторое компромиссное. Для решения поставленных задач под процессом синтеза в работе понимается задача выбора параметров морских пассажирских портов и определения необходимых структурных изменений некоторой уже имеющейся портовой системы, направленная на обеспечение требуемого качества работы. В общем виде целевая функция представима как

$$T(I, W, S, G, U) = [F_1(I, W, S, G, U) \rightarrow \max, \dots, F_m(I, W, S, G, U) \rightarrow \max],$$

где  $T$  – вектор критериев оценки эффективности работы пассажирского морского порта;  $F_1, \dots, F_m$  – критерии работы эффективности отдельных портовых терминалов и причалов;  $I$  – вектор параметров, описывающий структуру входящего потока круизных судов и дополнительного транспорта;  $W$  – вектор параметров, описывающих структуру исходящего потока транспорта и паромных судов;  $S$  – вектор параметров, характеризующий техническую оснащенность терминалов и причалов;  $G$  – вектор параметров, описывающих график работы и организацию обработки пассажиропотока и сопутствующего грузопотока;  $U$  – вектор параметров, характеризующий сервисы и услуги, которые предоставляют терминалы.

Система целевых функций работы морского пассажирского порта формализовано представима:

$$\begin{cases} \sum_{k=1}^c l_k T_k - \sum_{i=1}^p L_{k1} T_{ik}(S, G) \rightarrow \min, \\ C_i n_i(S, G) + \sum_{j=1}^h (C_{j1} + C_j W_j) + \sum_{k=1}^c C_k L_k^1 T_k(S, G) + C_k L_k^2 T_{k1}(S, G) \rightarrow \min, \\ F_i(\alpha_i) \rightarrow \min, \\ \sum_{j=1}^h (K_j^{\max}(G, S) - K_j(G, S)) \rightarrow \min, \end{cases}$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} 0 \leq K_j^{\max} \leq 1, j \in 1..n \\ a_i \leq \alpha \leq b_i, \alpha \in 1..n, b \in 1..n \\ T_{kj}^{\max}(G, S) \leq T_{kj}^{\max}, j \in 1..p, k \in 1..c \end{cases}$$

где  $p, c$  – количество технологических этапов по обработке пассажиропотока, количество заявок пассажиров в системе;  $h$  – количество ресурсов пассажирских терминалов (площадей и объемов терминалов, причалов);  $C_i$  – возможные задержки в обработке пассажиров или судов;  $n_i(S, G)$  – количество судов, получивших задержки за определенный интервал времени;  $C_{j1}$  – стоимость эксплуатации  $j$ -ого ресурса терминала в течение рассматриваемого времени;  $C_j$  – стоимость эксплуатации единицы площади терминала;  $W_j$  – площадь, занимаемая  $j$ -м ресурсом;  $C_k$  – штраф за ожидание обработки судна или возможный простой в работе терминала;  $L_k^1$  – признак обработки определенного  $k$ -ого судна;  $T_k(S, G)$  – длительность разгрузки  $k$ -ого судна;  $L_k$  – важность показателя длительности обработки  $k$ -ого заказа для терминала;  $T_{k1}(S, G)$  – длительность погрузки  $k$ -ой заявки;  $L_k^2$  – признак погрузки  $k$ -ого заказа;  $T_k$  – требуемая длительность обработка судов;  $L_{i1}$  – признак прохождения  $i$ -ого этапа  $k$ -м заказом в порту;  $T_{ik}(S, G)$  – длительность  $i$ -ого этапа обработки  $k$ -ого заказа;  $K_j(G, S)$  – загрузка  $j$ -ого ресурса терминала;  $K_j^{\max}$  – максимально возможная необходимая загрузка  $j$ -ого ресурса порта;  $T_{kj}^{\max}$  – максимально возможная длительность обработки заказа на  $j$ -м этапе технологических операций;  $F_i(\alpha_i)$  – функция влияния внешней среды.

Включение переменной  $F_i(\alpha_i)$  необходимо для учета влияния внешней среды на морской пассажирский порт. Благодаря данной функции имеется возможность оценки влияния на морской пассажирский порт. Стремление данной переменной к минимуму при данном подходе означает стремление системы к достижению стабильной работы терминала и отсутствию конкуренции на рынке между терминалами, сведению к минимуму рисков, к примеру, связанных с международной деятельностью. При синтезе структуры терминала происходит выбор оборудования для терминала среди доступных на рынке. Каждый тип оборудования имеет свою производительность, стоимость покупки или найма в аренду, и эксплуатации с учетом материально-технического обеспечения и восстановления оборудования.

### **Глава 3 «Исследование технологических процессов обработки пассажиров в морских терминалах»**

*Разработана модель планирования морского пассажирского порта, основанная на новом методе моделирования пассажиропотоков в виде самообучающихся агентов, рассмотрены модели и стадии развития морских пассажирских портов как новой отрасли.* Современные процессы заставляют морские пассажирские порты и терминалы более глубоко интегрироваться с другими компонентами транспортных сетей, преобразуя статус морского терминала в ключевой элемент круизного туризма. Среди известных стратегий развития порта выделяют следующие: Модель «Any Port»; Модель Юнктад (UNCTAD); Модель «трех поколений» UNCTAD; Модель «Workport».

Несмотря на локальность представления информации можно выявить стадии развития только пассажирских морских портов и терминалов:

- *Формирование пассажирского порта.* Зарождение порта происходит под воздействием исторических аспектов региона, географических особенностей (к примеру, присутствие населенных островов).

- *Отделение технологических операций* по обработке пассажиров, формирование отдельных причалов. Выделение отдельного кадрового портového персонала, задействованного в обработке круизных и паромных судов, пассажиров, строительство отдельно инфраструктуры для круизных и паромных судов;

- *Разделение или наоборот объединение причалов* для круизных и паромных линий;

- *Рост и модернизация инфраструктуры* причальной линии. В связи с ростом мегаполиса и увеличения количества объектов культурного наследия, которые будут привлекать пассажиропоток, порты увеличивают причалы, наращивают портовую инфраструктуру;

- *Специализация причалов и районов пассажирского порта.* Строительство отдельных морских портов, специализирующихся на паромных линиях и круизах;

- *Преобразование роли морского пассажирского порта* в пересадочный узел на внутреннее водное пространство и изменение социального статуса. Сервисы морского порта расширяются, путем добавления новых, социально значимых.

К примеру, каждый этап развития порта характеризуется уровнем развития прилегающей транспортной городской инфраструктуры. Укрупненно можно представить следующие этапы (рисунок 3)

На рисунке 3(а) представлена ситуация транспортной инфраструктуры, которая характерна на начальных этапах работы терминалов и портов, так как отводится единственный маршрутный путь для того, чтобы пассажиры добрались до судна. На рисунке 3(б) представлена ситуация с наличием разветвлённой сети городского транспорта, причем в данной структуре пользователь может самостоятельно выбирать вид транспорта. При таком подходе термини-

нал выступает точкой сходимости наземных маршрутов, центром притяжения, что позволяет использовать гравитационные модели и проводить анализ транспортной доступности

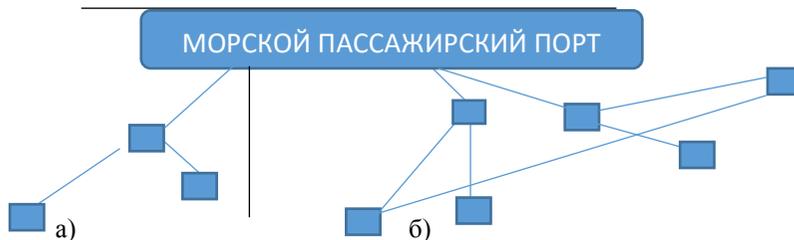


Рисунок 3 – Варианты транспортной доступности пассажирского терминала

Исследование процессов обслуживания пассажиров требует представления логистической цепи перемещения пассажира, использования модели сети Петри. Логистическая цепь перемещения пассажира описывается моделями в форме графа (рисунок 4).

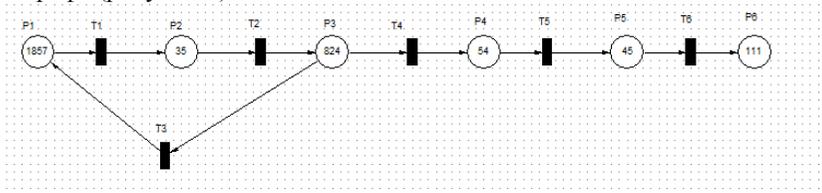


Рисунок 4 – Модель Петри цепочки движения пассажиров в морском порту начала круиза

Точки перехода для модели терминала на основе сети Петри представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Узловые точки сети Петри

P1	Пункт В (вход в пассажирский терминал)
T1	Вход в пассажирский терминал
P2	Контрольно-пропускной пункт
T2	Проходная контрольная точка
P3	Пассажиры в терминале
T3	Пассажиры покидают терминал
T4	Вхождение в таблицы для регистрации билетов и багажа
P4	Столлы оформления билетов и багажа
T5	Подход к паспортно-таможенному контролю
P5	Паспортный и таможенный контроль
T6	Перейти на круизное судно
P6	Пункт А (выход на пассажирское судно)

В каждой из служб пассажир затрачивает разное время на обслуживание. В связи с этим математическая модель определения времени обработки пассажира будет

$$T_{\text{обслуж}} = \sum_{i=1}^n t_i, T_{\text{обслуж}} \in [a_t, b_t],$$

где  $T_{\text{обслуж}}$  – суммарное время обслуживания;  $n$  – кол-во операций;  $a_t$  – минимальное время на обслуживание;  $b_t$  – верхняя граница времени на обслуживание;  $t_i$  – время затраченное пассажиром на каждом сервисе ( $t_1$  — время на проверку пассажира на входе в порт;  $t_2$  — время на проверку багажа пассажира при перемещении в порт;  $t_3$  — свободное время, проведенное в зале ожидания;  $t_4$  — время на выдачу билета на стойке регистрации;  $t_5$  — время на ожидание паспортного контроля;  $t_6$  — время на прохождение паспортного контроля;  $t_7$  — время на ожидание таможенного контроля;  $t_8$  — время на прохождение таможенного контроля;  $t_9$  — время, затрачиваемое пассажиром на проход по телескопическому трапу).

Идентификация процессов морского пассажирского порта формализовано представляется достаточно трудоемкой задачей, так как в процессе функционирования морского пассажирского терминала происходит непрерывное динамическое изменение интенсивности входящего потока пассажирских судов, числа работающих причалов терминалов, как к примеру, в морском пассажирском порту «Морской фасад» (Санкт-Петербург). Процесс функционирования морского пассажирского терминала, в той или иной степени точности, может быть представлен в виде последовательности нескольких типичных определенных режимов, характеризующихся наличием определенного набора характеристик, например, изменение интенсивности входного потока, числа пассажиров на определенный момент времени, число загруженных причалов. Данные значения выбираются как в прошлом, так и в настоящем, формируются через заданный определенный период времени, период дискретизации. Данное положение можно формализовано описать в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} t_i = (t_0, t_1, t_2, \dots, t_{n+1}), n \geq 0 \\ F(S_n) = (F_0(\lambda_0, \mu_0, R_0, P_0, H_0, t_0), F_1(\lambda_1, \mu_1, R_1, P_1, H_1, t_1), \dots, \\ F_n(\lambda_n, \mu_n, R_n, P_n, H_n, t_{n+1})), \\ \Sigma_n(S_n) = (\Sigma_0(F_0, t_0), \dots, \Sigma_{n+1}(F_{n+1}, t_{n+1})), \\ \Delta t = t_{n+1} - t_n, \Delta t = const \end{cases}$$

где  $t_i$  – моменты времени, характеризующие состояние системы;  $\lambda_i$  – интенсивности судов в определенные моменты времени;  $\mu_i$  – интенсивности обработки судов;  $R_n$  – количество задействованных причалов;  $P_n$  – количество пассажиров в заданные моменты времени;  $H_n$  – количество задействованного оборудования;  $F(S_n)$  – набор состояний портовой системы определенными в

моменты времени  $t_i$  и определяющиеся набором параметров;  $\Sigma n$  – набор состояний описывающих условия внешней среды, представляющее влияние на  $F(S_n)$ ;  $\Delta t$  – шаг выбора моментов времени для фиксации состояний системы.

При таком подходе полиномиальные модели представляют собой численные характеристики целевых функций морской портовой системы. При построении полиномиальных моделей пассажиропотока морского пассажирского порта использовались следующие методы: прогнозирование с помощью линии тренда; прогнозирование методом экспоненциального сглаживания; прогнозирование методом скользящих средних; прогнозирование методом наименьших квадратов; прогнозирование методом среднего темпа роста. Согласно проведенному анализу наиболее подходящей функцией, аппроксимирующей имеющиеся значения, является функция, описанная полиномом пятой степени для пассажиропотока в интервале наблюдения с 2009 по 2018 гг.:

$$g(x) = 234,73x^5 - 5910,8x^4 + 57789x^3 - 278621x^2 + 680928x - 213719$$

Графическое представление результатов прогнозирования представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – Прогнозные значения пассажиропотока (тыс. чел/год)

Таким образом, прогнозное значение пассажиропотока на 2018 год составляет 617490 чел. По отношению к 2017 году пассажиропоток в навигацию составил 557952 чел., увеличение более чем в 1,1067 раз. Увеличение по отношению к 2017 году составляет более 11% прироста.

Ввиду сложности и изменчивости окружающих терминал внешних процессов данный метод прогнозирования может использоваться только при краткосрочном прогнозировании. Полученные значения следует использовать как определенные состояния портовых систем. Основными практическими задачами моделирования являются следующие: прогнозирование работы пассажирского терминала для анализа загруженности, анализа пропускных способностей и анализа безопасности транспортного объекта; анализ надежности операционных процессов; изучение пассажиропотоков, моделирование различных перемещений пассажиров для прогнозирования возможных слабых мест и очередей и на основе результатов моделирования корректировка в расписании работы служб терминала.

Главная проблема, возникающая при моделировании движения пассажира заключается в сложности воссоздания правдоподобного поведения. Пассажир перемещается, руководствуясь личными целями или может хаотично перемещаться по терминалу в поисках того, что ему нужно. В модели перемещения пассажира необходимо включить случайные цели перемещений, которые возникают в случайные моменты времени. Базисными моделями, описывающими поведение пассажира, являются: модели для транспортных и пассажирских потоков, предложенные Greenberg Н., Green-shields В.Д., Daganzo С. F.; модель притягивающих сил; модели систем массового обслуживания; модели на основе клеточных автоматов; модель согласно ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

Так как пассажир перемещается в терминале, в ограниченном пространстве, то наиболее подходящими моделями являются модели на основе клеточных автоматов. При построении такой модели будет дискретно не только пространство, но и время, правилами клеточного перехода являются определённые алгоритмы перехода от одного состояния клеточного автомата к последующему. Несмотря на функциональность модели достаточно сложно описать возможные переходы, так как при практической реализации каждая ячейка может быть занята любым пассажиром в зависимости от заданного закона перемещения (рисунок 6).

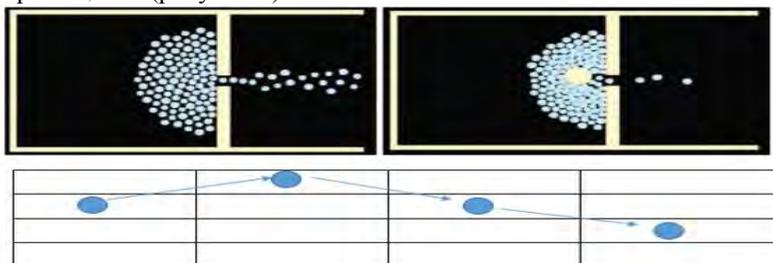


Рисунок 6 – Практическая реализация модели на основе клеточных автоматов

Для моделирования поведения пассажира в порту предлагается использование агентного моделирования, использования самообучающихся агентов, при котором могут быть созданы системы прогноза эвакуации пассажиров из терминала в случае возникновения чрезвычайной ситуации, эвакуации пассажиров с парома или круизного лайнера. Агенты могут быть классифицированы следующим образом:

- агенты с простым поведением имеют строгий алгоритм поведения, с описание возможных реакций в виде «условие - действие»;
- агенты с поведением, когда нет всех данных об окружающей агента среде и неизвестны цели других агентов;
- целенаправленные агенты, имеющие данные об окружающей среде, но и хранящие информацию о своих основных целях перемещения.

Самообучающиеся агенты способны приспосабливаться на основании данных об окружающей среде, накапливать информацию о своем поведении. На основании агентного моделирования и создания массива центров притяжения пассажиров в терминале (множества аттракторов) была реализована новая структура процесса и имитационная модель (рисунок 7). Структура имитационной модели приведена на рисунке 8. Результаты моделирования приведены на рисунке 9 для морского пассажирского терминала и аэропорта. Результаты моделирования в случае возникновения чрезвычайной ситуации приведены на рисунке 10.

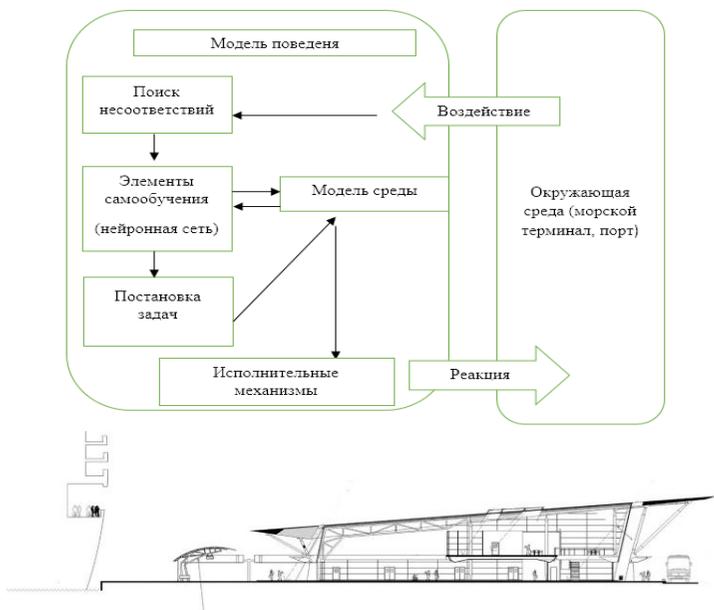


Рисунок 7 – Схема самообучающегося агента



Рисунок 8 – Оконная форма структуры имитационной модели перемещения пассажиров в морском терминале (порту)

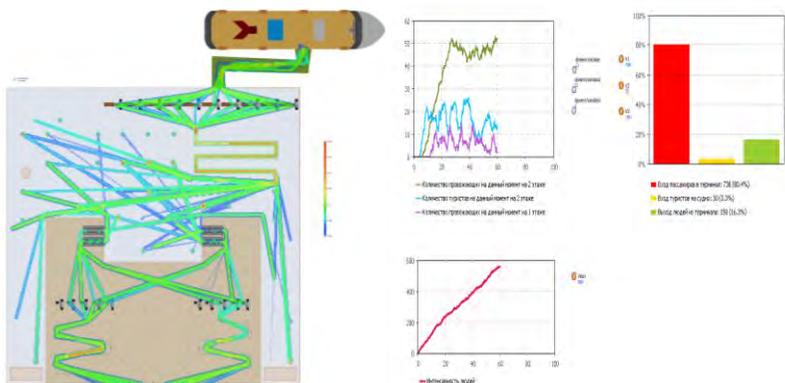


Рисунок 9 – Оконная форма имитационной транспортной модели пассажиропотоков в морском терминале (цифровой двойник)

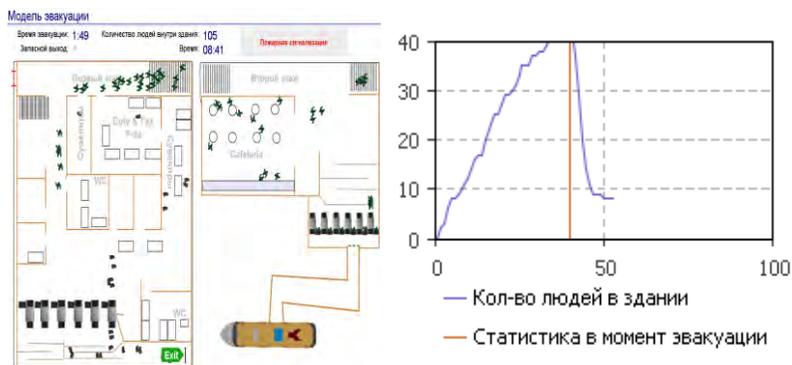


Рисунок 10 – Оконная форма модели эвакуации пассажиров из терминала в случае возникновения чрезвычайной ситуации

Имитационная модель позволяет решать возможные вопросы в работе морского пассажирского терминала, вносить корректировки в операционную деятельность. В аспекте практической реализации имитационная модель преобразуется в транспортную модель, на которой отрабатываются различные сценарии работы терминала.

#### Глава 4 «Моделирование маршрутной сети морских круизных и паромных линий».

*Определена методика исследования морских пассажирских портов и маршрутной сети круизных/паромных линий как динамической системы, активным элементом которой является пассажир с его личностными интересами и исследованием наземной инфраструктуры, предложено формирование методологического базиса маршрутной сети паромных и круизных линий*

для регионов морей, предложена модель оценки влияния морских пассажирских терминалов друг на друга. При исследовании процессов морского пассажирского терминала необходимо вводить разграничение задач согласно уровням транспортного планирования. Для исследования процессов терминалов, к примеру обработки круизных судов, вводятся обслуживающие приборы и формируются состояния системы на основе множества переходов и Марковских процессов. Возможные переходы системы представляются в виде размеченного графа с вероятностными переменными, как перехода в состояние, так и наличие обратного перехода. Следовательно, для лица принимающего решение необходимо определить условие, на основании которого система вышла из известного состояния. На основании представленного подхода можно использовать вероятностные модели как на основе заданных вероятностей переходов, так и с учетом наличия непрерывного времени. Однако в первом случае лицо, принимающее решение, должно формировать критерии переходов, что, в свою очередь, может привести к ошибкам в принятии решений. Либо необходимо выполнять пересчет при задании разброса значений различных вероятностей переходов, что приведет к формированию различных решений. Тогда видится логичным принятие решений при неопределенности и использования таких критериев как критерий Гурвица, критерий Лапласа и ряд других. При этом понимается, что любое лицо принимающее решение по прогнозированию возможных ситуаций в работе терминала, может иметь свое отношение к возможным рискам или потерям в рамках исследуемой проблематики. Поэтому возможно нахождение набора наиболее благоприятных решений, лицо принимающее решение, будет вынуждено формировать выборки и сокращать поле возможных решений до набора группы наиболее предпочтительных.

В таком аспекте подход при использовании однородных Марковских процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем позволяет получить функционалы возможных переходов от функции времени и уже исследовать динамическую функцию, более подходящую для решения задач прогнозирования. Но и в этом случае, приходится вводить граничные значения и ограничения, что в свою очередь, уменьшает результативность решения. Ввиду наличия дискретного характера процессов как в расписании круизных и паромных судов, так и в работе пассажирского терминала видится наиболее перспективным исследовать состояния морских портовых систем с точки зрения теории дискретных процессов и систем.

Морские паромные круизы и перевозки являются быстро изменяющейся системой, динамические процессы которой отличаются рядом уникальных особенностей. Результат анализа загруженности отдельных причалов в Пассажирском порту Санкт-Петербург «Морской Фасад» приведен на рисунке 11.

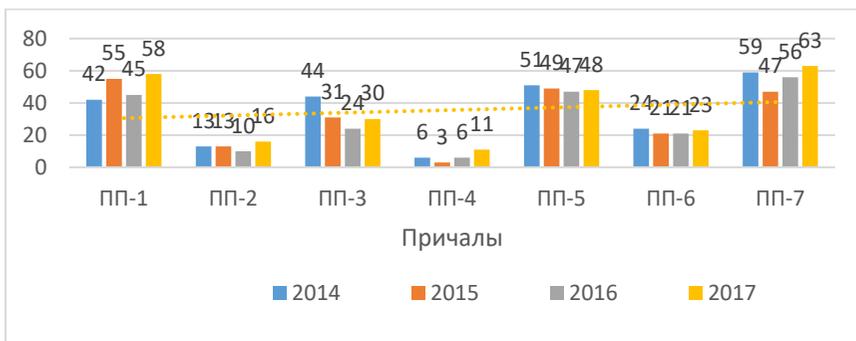


Рисунок 11 – Оценка загруженности отдельных причалов в Пассажи́рском порту Санкт-Петербург «Морской Фасад» (количества причаливаний, шт.)

Пассажи́рский терминал понимается как точка сходимости морских круизных или паромных маршрутов и наземной пассажирской транспортной инфраструктуры. Согласно данному определению общее представление взаимодействия «городская инфраструктура – пассажирский терминал (порт) – круизная линия» приведено на рисунке 12.

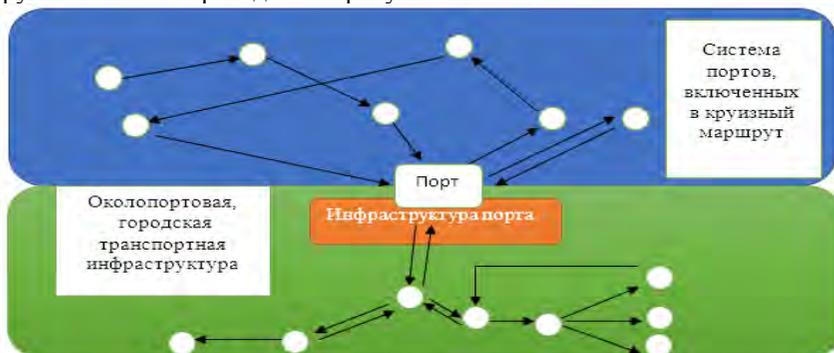


Рисунок 12 – Обобщенная схема представления взаимодействия системы «круизная линия – пассажирский терминал -городская транспортная система»

Терминал является связующим элементом между морской круизной сетью и наземной транспортной инфраструктурой. С одной стороны, особенностью направлений наземных потоков является их двусторонняя направленность и наличие выбора у пассажиров вариантов использования различных транспортных городских путей. Чем больше выбор у пассажира, тем более клиентоориентированным и привлекательным является морской пассажирский терминал. Количество одновременно стоящих паромов определяет максимальную вместимость пассажирского порта. Несмотря на проработанность темы под влиянием внешней среды и созданием новых круизных и паромных маршрутов в модели сети перевозок вносятся изменения. Особенно задача актуальна как при создании нового маршрута, так и для принятия решения на

макроуровне управления. На основе проведенного анализа маршрутных направлений сформирован методологический базис маршрутной сети круизных и паромных линий для регионов морей. При анализе принимались следующие теоретические положения: в пассажирских портах и терминалах концентрируется необходимый пассажиропоток; маршрутная сеть расширяется путем добавления новых ближайших портов с формированием отдельных участков, состоящих из ограниченного числа портов, образующих замкнутые маршруты; организация морской транспортной сети выполнена таким образом, что между любыми портами есть регулярный маршрут и регион перекрывается полностью сетью. На основе исходных данных маршрутов паромных и круизных линий, организуются следующие формы маршрутов:

а) прямой паромный маршрут (линейное судоходство), соединяющий заданные порты и маршрут с включением дополнительных портов, расположенных в направлении исходного порта (рисунок 13)

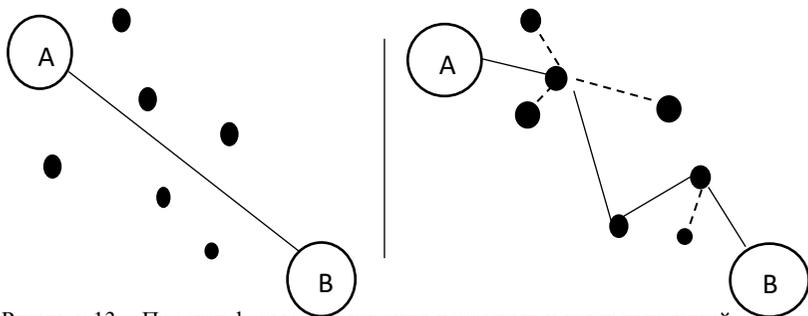


Рисунок 13 – Простая форма организация паромных и круизных линий

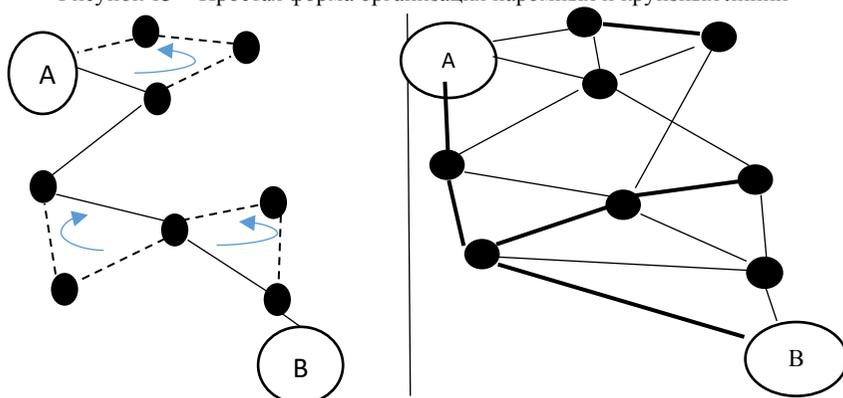


Рисунок 14 – Фиксированные маршруты с формированием дополнительных участков и расширенная транспортная сеть, охватывающая все терминалы региона

На рисунке 14 представлены варианты организованных морских маршрутных сетей, таким образом, что между некоторыми пассажирскими портами создаются подсети, на которые организационно выделяются отдельные

паромы или формируется единая маршрутная сеть с закреплением судов за определёнными выделенными маршрутами.

На основании различных комбинаций маршрутов формируется маршрутная сеть.

В диссертационном исследовании предлагается решение задачи анализа всей системы «морская паромная линия – пассажирский порт – терминальная наземная инфраструктура» на основе круговых диаграмм связей. Для их построения исходные данные необходимо преобразовать в матричную форму. Результат анализа приведен на рисунке 15.

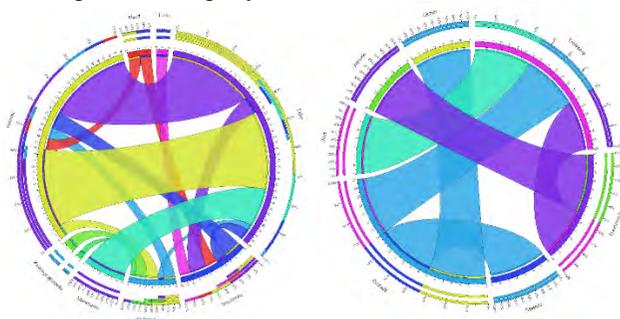


Рисунок 15 – Круговая диаграмма связей интенсивностей паромного движения в Балтийском море между пассажирскими терминалами

Для прогноза структуры перевозки пассажиров производится расчет матриц корреспонденций между расчетными портами, соответствующими передвижениям разного типа судов с целью доставки пассажиров в соответствии с расписанием движения судов.

Согласно данному представлению ряд элементов в матрице будет иметь постоянные значения, так как ни в одном порту круиза они не покидают судно. Но в данной матрице присутствуют узловые точки наземной инфраструктуры, которые концентрируют пассажиропоток, следующий на круизное судно. Расчет матриц корреспонденций проводится по гравитационной модели. Транспортная гравитационная модель связывает интенсивность потока пассажиров  $T_{ij}$  между полным числом отправок из  $i$ -той зоны (порта)  $Q_i$  (отправляющихся из зоны  $i$ ) и прибытий в  $j$ -ю зону  $D_j$  (прибывающих в порт  $j$ ) и затратами на передвижение между зонами  $i$  и  $j$ .

$$T_{ij} = k \frac{Q_i D_j}{c^2_{ij}}; \sum_i T_{ij} = D_j, \sum_j T_{ij} = Q_i, T_{ij} \geq 0; \sum_i T_i = \sum_j D_j,$$

Уравнение означает, что суммарный поток паромных судов, который покинул порт  $i$  в зоне порта  $j$  должен быть равен потоку, который прибыл в зону порта  $j$ . Граничное условие означает, что суммарный поток, который вышел обратно из всех зон  $j$  в зону  $i$  должен совпадать с числом прибывших в зону  $i$ . Суммарное количество покинувших порт судов должно быть равно

суммарному количеству прибывших. Ограничением модели является условие того что потоки не должны быть отрицательными величинами. При моделировании пассажиропотока  $T_{ij}$  между известными векторами отправлений из портов  $Q_i$  и прибытия в порты  $D_j$  можно рассчитать по следующей формуле:

$$T_{ij} = A_i B_j Q_i D_j f(c_{ij}), \text{ где } A_i = \left[ \sum_j B_j D_j f(c_{ij}) \right]^{-1}, B_j = \left[ \sum_i A_i Q_i f(c_{ij}) \right]^{-1},$$

где  $f(c_{ij})$  – функция, которая зависит от стоимости перевозки пассажиров. В качестве  $f(c_{ij})$  можно использовать среднее время передвижения  $t_{ij}$ , которое считается заданным при среднем времени в пути между портами. Среднее время передвижения судов между портами является более или менее стабильным показателем морской транспортной системы и данная величина может быть спрогнозирована.

В результате работы данного алгоритма можно получить значения коэффициентов загрузки узловых точек системы «инфраструктура терминала – морской пассажирский порт – круизное (паромное) судно».

Как было отмечено выше, для повышения эффективности оперативного управления процессами переработки круизных судов, возникает необходимость в создании системы полиномиальных динамических моделей. На основании использования группы методов прогнозирования получились следующие наиболее подходящей функцией, аппроксимирующей имеющиеся значения, является функция, описанная полиномом 5-й степени:

$$g(x) = 0,2496x^5 - 6,6349x^4 + 69,601x^3 - 348,8x^2 + 814,06x - 417,33$$

Делая вывод о выборе оптимального метода прогнозирования, необходимо сравнить показатели как по пассажиропотоку так и по судозаходам. Исходя из сравнительной характеристики методов по среднему квадрату ошибки можно сделать вывод о том что, значения, полученные посредством полиномиального прогнозирования, являются правдивыми, а сам метод выбран оптимальным среди вышеперечисленных.

## **Глава 5 «Формирование общей методологии планирования и управления морским пассажирским терминалом на основе дискретизации процессов».**

*Предложена модель прогнозирования развития терминала на основе дискретизации процессов, обеспечивающая в отличие от классических методов аналитического прогнозирования или теории принятия решений в условиях неопределенности возможность точного и оперативного принятия решения. Предложена методика планирования работы служб морского пассажирского порта на основе комбинации методов имитационного моделирования, использования логистической функции и учета динамического поведения пассажиров в терминале. Предложена методология планирования и управления морским пассажирским портом на основе моделирования. На основании прогнозирования в классе полиномиальных моделей можно получить набор прогнозных значений, каждый из которых*

будет определять характер работы морских пассажирских терминалов и ее интенсивность. Однако данная модель не может включать в анализ динамическое воздействие внешней среды. При выполнении ретроспективного анализа, чтобы выявить вектор развития, возможны ситуации, характеризующиеся одинаковыми состояниями системы. Необходимо также понимать, что метрики формирования дискретных значений может быть различны. Под метрикой можно понимать состояние: состояние морской портовой системы, характеризующееся количеством круизных и паромных судов; состояние системы характеризующееся, количеством пассажиров, прошедших обработку службами терминала; состояние системы определяющее, финансовые инвестиции в развитие портовой инфраструктуры; состояние системы определяющее, маршрутную сеть круизных и паромных линий; состояние системы, характеризующееся развитием информационного пространства и сервисов, применительно к сфере круизных перевозок; состояние терминала, характеризующегося численностью персонала и обслуживающей процессы техники; состояние терминала, характеризующееся развитием отношения «город мегаполис – морской пассажирский терминал». В данном аспекте предлагается исследовать морской пассажирский терминал на основе изменения его состояний. Под состоянием понимается набор аналитических данных, определяющий возможности терминала по обработке судов и пассажиров. Для решения задачи прогнозирования предлагается следующий новый алгоритм:

- сформировать дискретный интервал для проведения исследования из имеющихся динамических данных;
- сформировать критерии выборки состояний портовой системы характеризующейся наилучшими параметрами, и соотнести данные состояния с объектами инфраструктуры;
- сформировать критерии выборки наихудших состояний портовой системы и соотнести данные с объектами инфраструктуры;
- проанализировать полученные массивы значений, используя интерполяцию и выполнить теоретическую оценку недостающего уровня;
- сформировать алгоритм оперативного воздействия для улучшения состояний системы и проведения анализа имеющихся объектов портовой инфраструктуры.

Методики прогнозирования основываются на положениях теоремы Котельникова о состояниях системы. Согласно такому подходу любые процессы являются плавными функциями времени. Скачки значений в них практически не наблюдаются, поэтому такой процесс можно представить последовательностью их значений, взятых с некоторым шагом по времени. Восстановление любого состояния системы производится по формуле

$$x(t) = \sum_{k=0}^K x_k \frac{\sin \omega_0(t - k\Delta t)}{\omega_0(t - k\Delta t)}, \quad \text{где } \omega = 2\pi f.$$

Процесс точного нахождения состояния системы, по имеющимся дискретным значениям представляется в следующем виде рисунок 17.

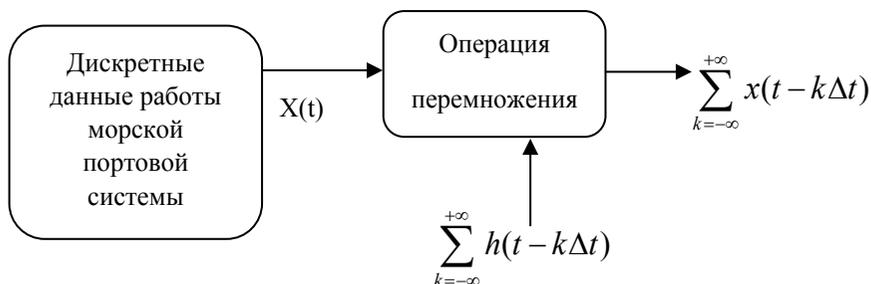


Рисунок 16 – Процесс дискретизации состояний системы

На рисунке 16 на один вход поступает исходный непрерывный процесс  $x(t)$  работы портовой системы, на второй вход поступает система единичных дискретных значений, следующих друг за другом с периодом  $\Delta t$ .

Среднее квадратическое отклонение погрешности представления сигнала рядом Котельникова составляет  $\sigma\Delta=0.05$ .

Полученный результат в виде крайне малой погрешности  $\gamma_0 = 2.7\%$  свидетельствует о правильности использования теоремы Котельникова для восстановления состояния или нахождения положения системы на основании дискретных отсчетов.

Для морского пассажирского терминала уравнение для расчета имеет следующий вид

$$X_{2016} = F_{2014} \frac{\sin(\omega t_{2016})}{\omega t_{2016}} + F_{2015} \frac{\sin(\omega t_{2016} - \pi)}{\omega t_{2016} - \pi} + F_{2017} \frac{\sin(\omega t_{2016} - 2\pi)}{\omega t_{2016} - 2\pi},$$

где  $t_{2016}$  – дискретный момент времени, для которого нужно произвести расчет состояния;  $F_{2014}, F_{2015}, F_{2017}$  – конкретные значения по пассажиропотоку терминала 2014–2017 годов.

Графическая интерпретация расчета и нахождения ошибки приведена на рисунке 17.

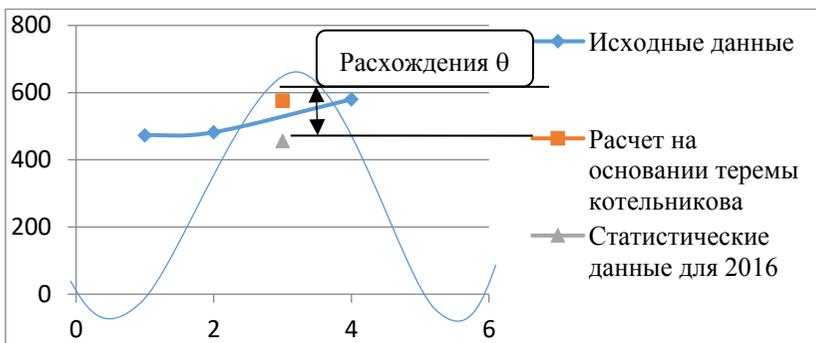


Рисунок 17 – Реализация определения состояния системы по дискретным значениям и нахождение расхождений в состояниях

Получается, что на основании имеющихся данных пассажиропоток за 2016 г. должен был составить 561 378 пассажиров. Расхождение в значениях составляет  $\theta = 104883$  пассажиров. Необходимо отметить, что при решении предусматривалось условие постоянства действия внешней среды и постоянство числа задействованных причалов. Для учета влияния внешней среды необходимо внести дополнительную функцию, отражающую как положительное, так и отрицательное влияние внешней среды

$$x(t) = \sum_{k=0}^K x_k \frac{\sin \omega_e(t - k\Delta t)}{\omega_e(t - k\Delta t)} \pm \alpha(t),$$

где  $\alpha(t)$  – функция отражающая влияние внешней среды (к примеру, функция возможного уменьшения пассажиропотока); Знак « $\pm$ » показывает характер влияния данной функции на исследуемый процесс. Так как влияние внешней среды носит вероятностный характер, то при исследовании данная функция может преобразоваться в набор функций

На основании полученного расчета лицо принимающее решение, должно сформировать систему принятия корректировочного решения для минимизации ошибок. Общая схема формирования корректирующих воздействий представлена на рисунке 19.



Рисунок 19 – Схема формирования корректирующего воздействия на терминальную систему для лица принимающего решение

На основании рисунка 17 и предлагаемой методики оценки состояний портовой системы в контур принятия решения по управлению дополнительно вносится учет корректирующего воздействия  $X_{kop}(t)$  состояний системы. При этом данная методика должна использоваться параллельно с блоком моделирования операционной деятельности. На основе моделирования определяется прогнозная загрузка элементов инфраструктуры и уже затем производится расчет состояний, в то время как с использованием предлагаемой методики открывается возможность напрямую рассчитать необходимое состояние портовой системы.

Предлагаемая методика и расчет на основании дискретизации состояний открывает возможность в информационные системы по мониторингу пассажирских терминалов внести специальные программные модули позволяющие просчитывать состояния системы через заданный лицом, принимающим решение временной интервал.

Для учета влияния внешней среды предлагается исследовать поведение пассажиров через базис логистической функции. Для решения задачи прогнозирования предлагается ввести соответствие коэффициентов пропорциональности к характеристикам среды общества, в которой распространяется информация о круизе. Большую сложность вызывает исследование функции поведения общества. Данная функция имеет сложный, изменчивый характер и поэтому ее необходимо представлять семейством функций, которые могут описывать различные экономические ситуации. Таким образом, если у лица, принимающего решения, есть данные о показателях (имеются экспертные оценки, некоторая статистика спроса на существующие круизы и пр.), то

лицо, принимающее решение, может увидеть полную картину будущего той или иной задачи (продажи, информированности населения, заполнения круизного судна и пр.). Исходное уравнение для анализа состояния морских портовых систем с учетом влияния внешней среды будет иметь вид

$$\begin{aligned} Xоб(t) &= \frac{N_1}{1+(\alpha_1-1)e^{-N_1k_1t}} + \frac{N_2}{1+(\alpha_2-1)e^{-N_2k_2t}} + \frac{N_3}{1+(\alpha_3-1)e^{-N_3k_3t}} + \dots + \frac{N_n}{1+(\alpha_n-1)e^{-N_nk_nt}}, \\ \Delta x(t) &= \sum_{k=0}^K x_k \frac{\sin \omega_0(t-k\Delta t)}{\omega_0(t-k\Delta t)} \pm R \left( \frac{N_1}{1+(\alpha_1-1)e^{-N_1k_1t}} + \frac{N_2}{1+(\alpha_2-1)e^{-N_2k_2t}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{N_3}{1+(\alpha_3-1)e^{-N_3k_3t}} + \dots + \frac{N_n}{1+(\alpha_n-1)e^{-N_nk_nt}} \right), \end{aligned}$$

где  $N_1, N_2, N_n$  – количество пассажиров на каждом отдельном круизе;  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  – функция потерь, из-за нежелания выбирать круизный тур;  $K_1, \dots, K_n$  – коэффициенты пропорциональности, представляющие заинтересованность информацией о круизе.

На основании проведенного анализа разработана новая математическая модель, на основе логистической функции, позволяющая внести уточнение в планирование работы морского пассажирского порта и уточнить прогноз. В модель состояний системы вносятся поправочные коэффициенты, которые либо подтверждают выполнение маршрута, либо заход конкретного паромного судна не включается в прогноз. Кроме определения потерь в виде уменьшения пассажиропотока, как было в 2016 г., можно анализировать, по какому туру не было заполнения круизного судна. На основании использования систем интернет–бронирования мест на круизах и парамах можно прогнозировать количество пассажиров на круизных судах и возможность осуществления самого круиза. На основании этих данных определяется плановая работа терминала. Данной методикой достигается планирование загруженности терминала, исследование работы служб и уточнение на период навигации. На основании разработанных методик прилагается общая структура и состав методологии планирования, применительно к морскому пассажирскому порту.

### Заключение

Диссертационное исследование было выполнено для решения научной проблемы, связанной с отсутствием методов планирования работы и прогнозирования развития морских пассажирских терминалов с учетом динамики процессов, адекватных современному состоянию транспортной отрасли и принимающих во внимание действующие социально-экономические, рыночные и технологические факторы, а также исследующие факторы влияющие

на пассажиропоток. Основной научной гипотезой, положенной в основу исследования, служит положение о том, что решение проблемы планирования должно осуществляться с помощью имитационного моделирования, реализованного в форме транспортной модели (цифрового двойника), поскольку лишь этот научно-методический подход обеспечивает требуемую многовариантность, возможность выполнения анализа чувствительности, оценки надежности найденных решений и их устойчивости в различных горизонтах планирования, формированию понятий агент и введению понятия «состояние морской портовой/терминальной системы».

Полученные результаты диссертационной работы обладают высокой точностью и могут быть применимы также для пассажирских терминалов на других видах транспорта. Подход на основе моделирования в практике проектирования и прогнозирования развития терминалов используется давно, и собственно концепция моделирования не выносятся на защиту.

Новизну диссертационной работы составляет использование новых принципов разработки и использования моделей работы пассажирских терминалов, основанных на комбинации методик моделирования, введения в модели новой сущности – самообучающегося агента, позволяющего спрогнозировать динамическое поведение пассажира и определить загруженность и работу служб порта. На основании закономерностей формирования пассажиропотока и интенсивностей паромного движения предложено моделирование работы всей системы «город – морской терминал – круизная/ паромная линия (система перевозчика)». Для решения данной задачи предложено использование круговых диаграмм связей. Для обоснования необходимости перехода на новую парадигму в исследовании выполнен анализ существующих моделей развития портов в современной транспортной науке, предназначенных для определения принципов и закономерностей развития морских портов. Ввиду многокритериальности объекта исследования выполнено построение нового методологического базиса морских круизных и паромных линий для регионов морей.

На основе проведенного анализа показано, что недостатки имеющихся методов прогнозирования носят не локальный характер, а обусловлены внутренними ограничениями имеющихся методологий. В рамках предложенного подхода впервые поставлена и решена задача планирования и прогнозирования работы морского пассажирского порта или терминала на основе комбинации методов моделирования, решения задачи синтеза и применения аппарата дискретизации процессов. Сложный характер влияния внешней среды для морского порта предложено описать на основе логистической функции и сформировать модель корректировки уточнения для системы управления терминалом для лиц, принимающих решение.

В проведенном исследовании предложены новые имитационные транспортные модели, прогнозирующие развитие морских пассажирских терминалов под влиянием различных факторов и позволяющие решать задачу планирования работы. Разработанные модели и методы позволили предложить

новую методологию характеризующуюся широтой охвата ключевых параметров функционирования морских пассажирских портов и терминалов. Впервые предложено изучение данных систем не отдельно, а в совокупности и с учетом влияния городской инфраструктуры и организации круизных линий (перевозчика). Созданы и доведены до практического применения методики и оценки, реализованные как методические рекомендации и расчетные программные модули, имитационные транспортные модели (цифровые двойники процессов). Достоверность результатов исследования и адекватность моделей, обеспечены применением обоснованных и доказательных методик, совпадением результатов моделирования с реальными эталонными статистическими данными, согласованием результатов с данными других авторов в сравнимых аспектах. Реализованные решения впервые дают возможность получать важные стратегические результаты, необходимые как для отдельных организаций, работающих в транспортной отрасли, так и для всего народного хозяйства страны в целом. Полученные результаты углубляют научные положения и представления, касающиеся места и роли транспортной инфраструктуры, в удовлетворении общественных потребностей, расширения ее роли и повышении эффективности использования и составляют весомый вклад в транспортную науку.

Результаты исследования применялись в проектах прогнозирования и управления развитием морских терминалов, разработанные на их основе имитационные модели и программные модули были внедрены в практику работы ряда ведущих предприятий транспортной отрасли.

*Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что цели диссертационного исследования* – совершенствование планирования процессами в морских пассажирских портах и терминалах, на основе оптимизации технологических процессов, решения задачи синтеза структуры терминала, решение задачи операционного прогнозирования с учетом влияния внешней среды и формирования набора дискретных отдельных состояний системы для обеспечения качественного нового уровня стратегического планирования морских пассажирских портов и терминалов, достигнуты.

Предложенная методология может быть рекомендована в качестве нового инструмента планирования и прогнозирования на стратегических и тактических уровнях для морских пассажирских портов. Перспективность этого инструмента в диссертационном исследовании обоснована теоретически и практически.

### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

**Работы, опубликованные автором в перечне ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК:**

1. Майоров, Н.Н. Исследование и реализация оптимального варианта работы портовой логистической системы с использованием имитационных

моделей систем массового обслуживания / В. А. Фетисов, Н. Н. Майоров // Эксплуатация морского транспорта. – 2012. – № 3. – С. 3–7. (0,4/0,1).

2. Майоров, Н.Н. Разработка методик расчета пропускной способности транспортной системы с условно-кольцевыми связями/ В.А. Фетисов, Н.Н. Майоров // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. – 2012. – № 3. – С. 228–232. (0,4/0,1).

3. Майоров, Н.Н. Метод оценки пропускной способности аэровокзального комплекса с помощью имитационного моделирования / В.А. Фетисов, Н.Н. Майоров // Информационно–управляющие системы. – 2014. – № 6 (73). – С. 82–86. (0,4/0,1).

4. Майоров, Н.Н. Решение задачи прогнозирования и оперативного управления работой морской контейнерной линией на основе имитационного моделирования / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015. – №3(31). – С. 193–201. (0,8/0,13).

5. Майоров, Н.Н. Моделирование контейнерооборота морской транспортной системы на основе математического аппарата гравитационной модели / Н.Н. Майоров, А.В. Кириченко, В.А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – №5(33). – С. 26–33. (0,61/0,1/0,1).

6. Майоров, Н.Н. Исследование состояний контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов, А.В. Кириченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 3 (37). – С. 7–15. (0,8/0,1/0,05).

7. Майоров, Н.Н. Исследование операционных процессов обслуживания пассажиров в морском пассажирском терминале с использованием моделирования / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). – С. 70–80. (1,0/0,16).

8. Майоров, Н. Н. Моделирование состояний морского терминала на основе дискретизации процессов / Н.Н. Майоров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2018. – №1(47). – С. 20–29. (1,04).

9. Майоров, Н.Н. Задача синтеза структуры морского пассажирского терминала / Н.Н. Майоров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2018. – №2(48). – С. 275–286. (1,27).

10. 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. (1,05).

11. Майоров, Н.Н. Прогнозирование процессов морского пассажирского терминала в классе полиномиальных моделей / Н.Н. Майоров // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 3. – С. 113–122. (1,05).

12. Майоров, Н.Н. Транспортная модель как инструментарий для исследования процессов морского пассажирского терминала / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов // Транспортное дело России. – 2018. – № 5. – С. 158–159. (0,13/0,1).

13. Майоров, Н. Н. Прогнозирование развития морских пассажирских терминалов и сети паромных линий в регионе Балтийского моря / Н.Н. Майоров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2018. – №6(52). – С. 1299-1311. (1,4).

14. Майоров Н.Н. Планирование работы морского пассажирского терминала на основе исследования интенсивностей заходов круизных судов/ Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2019. – № 3. – С. 120–128. (0,83/0,1).

**Статьи в рецензируемых журналах, входящих в системы цитирования Web of Science и Scopus:**

15. Maiorov, N.N. System approach to the simulation of transport infrastructure of container terminals. / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov // Naše more (Our Sea). – 2014. – Vol 61. No 5–6. – pp. 102-105. (0,61/0,2).

16. Maiorov, N.N. Some experiences of specialists in maritime transport education at SUAI (Russia) and the University of Dubrovnik (Croatia) / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov, S. Krile, I.Đ Tomaš // Naše more (Our Sea). – 2015. – Vol 62, No 1. – pp. 25–29. (0,61/0,2/0,05/0,05).

17. Majorov, N.N. Research and analysis container shipping line on the basis of simulation / N.N. Majorov, V.A. Fetisov // Naše more (Our Sea). – 2015. – Vol 62. No 2. – pp. 59-66. (0,71/0,1).

18. Maiorov, N.N., Mathematical modelling and research of passenger flows in marine passenger port / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov // Naše more (Our Sea). – 2017. – Vol 64. No 1. – pp. 1-6. (0,59/0,1).

19. Maiorov, N.N. Forecasting the operational activities of the sea passenger terminal using intelligent technologies / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov, S. Krile // Transport Problems. – 2018. – Vol.13 (Issue 1). – pp. 27-36. (0,8/0,1/0,1/0,05).

20. Maiorov, N.N. Improvement of the quality of the sea passenger terminal based on methods of forecasting / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov // Naše more (Our Sea). – 2018. – Vol 65. No 3. – pp. 135-140. (0,61/0,2).

21. Maiorov, N.N. Work analysis of maritime passenger terminals for particular region based on circo plot. / N.N. Maiorov, S. Krile // Naše more (Our Sea). – 2019. – Vol 66. No 2. – pp. 57-61. (0,61/0,2).

22. Maiorov, N.N. Forecasting of the route network of ferry and cruise lines based on simulation and intelligent transport systems/ N.N. Maiorov, V.A. Fetisov,

S. Krile, D. Miskovic // Transport Problems. – 2019. – Vol.14 (Issue 2). – pp. 111-123. (1,1/0,1/0,06/0,07).

23. Maiorov, N.N. Simulation of the route network and ferry traffic intensity based on the process of discretization and circos plot intensity diagram / / N.N. Maiorov, V.A. Fetisov, S. Krile, D. Miskovic // Transport Problems. – 2019. – Vol.14 (Issue 4). – pp. 21-31. (0,8/0,1/0,15/0,05).

#### **Свидетельства о госрегистрации программ для ЭВМ:**

24. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2015611307. Рос. Федерация. Программа моделирования размещения станций метрополитена с учетом мобильности населения / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов; правообладатель ГАО ВО ГУАП (RU) — № 2014662298 ; заявл.01.12.2014 ; опубл. 27.01.2015, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

25. Свид. 19958 Российская Федерация. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ИУО РАО ОФЭРНиО. Алгоритм реализации имитационной модели работы морской контейнерной линии / Н.Н. Майоров, В.И. В.А. Фетисов, В.Е. Таратун, Г.К. Пичугина; заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО ГУАП (RU).; опубл. 24.02.2014.

26. Свид. 22608 Российская Федерация. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ИУО РАО ОФЭРНиО. Программа моделирования движения судов на внутренних водных путях в пределах мегаполиса / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов, К.В. Гоголев; заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО ГУАП (RU).; опубл. 06.03.2017.

27. Свид. 23524 Российская Федерация. Свидетельство о регистрации электронного ресурса ИУО РАО ОФЭРНиО. Программа моделирования операционной деятельности морского пассажирского терминала / Н.Н. Майоров, В.И. В.А. Фетисов; заявитель и правообладатель ФГАОУ ВО ГУАП (RU).; опубл. 22.03.2018.

#### **Публикации в других изданиях:**

28. Майоров, Н.Н. Имитационное моделирование как метод оптимизации сложной технической системы / В.А. Фетисов, Н.Н. Майоров, В.Е. Таратун // Системный анализ и логистика. – 2013.–№ 10.– С. 63–69. (0,6/0,09).

29. Майоров, Н.Н. Использование агентного моделирования для исследования пропускных способностей аэропортов / Н.Н. Майоров, В.Е. Таратун // Сборник докладов, посвященный Всемирному Дню авиации и космонавтики ГУАП. – 2014. –Ч. 1. – С.65–70. (0,48/0,1).

30. Майоров, Н.Н. Сравнение методов синхронизации общественного транспорта/ Н.Н. Майоров, Т.В. Новикова // Сборник докладов, посвященный Всемирному Дню авиации и космонавтики ГУАП. – 2015. –Ч. 1. – С.105–108. (0,36/0,1).

31. Майоров, Н.Н. Вопросы анализа и выбора математических методов для исследования транспортных процессов на внутреннем водном транспорте

в границах мегаполиса / Н.Н. Майоров, К. В. Гоголев // Труды конф. «Развитие экономической науки на транспорте: проблема оптимизации бизнеса», Санкт-Петербург, ПГУПС. – 2016. — С. 286–293. (0,61/0,2).

32. Майоров, Н.Н. Моделирование процесса обслуживания пассажиров на территории морского пассажирского порта / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов, А.В. Гунягина // Труды международной научно-практической конференции «Порто-ориентированная логистика – 2016». СПб. : ГУМРФ. – 2016. – С. 138–141. (0,3/0,04).

33. Майоров, Н.Н. Мониторинг и прогнозирование перемещения объектов внутри транспортного узла / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов, В.Е. Таратун // Материалы секции XV Международной научно-практической конференции «Логистика: современные тенденции развития», 2016 – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова – 2016.– С.143–146.(0,3/0,04).

34. Maiorov, N.N. Analysis of the technical state of the system based on the expert evaluations / N.N. Maiorov, V.A. Feisov, V.E. Taratun //Bulletin of the Unesco department «Distance education in engineering».–SPb.:SUAI. – 2016 .P. 12–14. (0,26/0,1/0,1).

35. Maiorov, N.N. Conditions for choosing a mathematical model for simulation of passenger processes / N.N. Maiorov // Bulletin of the Unesco department « Distance education in engineering» .–SPb.:SUAI, Issue 2. – 2017. – P. 16–19. (0,34).

36. Майоров, Н.Н. Вопросы выбора математических моделей для исследования пассажирских потоков в транспортных системах / Н.Н. Майоров, В.А. Романек // Системный анализ и логистика. – 2017.– № 1(14) .– С. 39–45. (0,6/0,09).

37. Майоров, Н.Н. Пути повышения точности моделирования транспортных систем / Н.Н. Майоров // Труды XI международной научно-практической конференции в 2 т. – Тюмень : ТИУ. 2018. – С 327–332. (0,6).

38. Майоров, Н.Н. Морские пассажирские терминалы: современные тенденции развития / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов // Материалы секции XVII Международной научно-практической конференции «Логистика: современные тенденции развития», 2018 – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2018.– С.312–315. (0,36/0,1).

39. Майоров, Н.Н. Исследование взаимного влияния морского пассажирского терминала и города/ Н.Н. Майоров // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 1(19). – С. 18–24. (0,7).

40. 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. (0,81).

41. Майоров, Н.Н. Моделирование изменений в транспортных системах после внедрения интеллектуальных технологий на основе теории множеств/

Н.Н. Майоров // Труды XII международной научно-практической конференции. —Тюмень : ТИУ. – 2019. – С. 335–339. (0,46).

42. Майоров, Н.Н. Тенденции развития маршрутов пассажирских перевозок на внутреннем водном транспорте в Санкт-Петербурге/ Н.Н. Майоров, Е.П. Яковлева // Системный анализ и логистика. – 2019. – № 3(21). – С. 54–64. (0,8/0,1).

43. Майоров, Н.Н. Границы применимости имитационного моделирования для оценки пропускных способностей пассажирских терминалов / Н.Н. Майоров, В.А. Фетисов // Материалы секции XVIII Международной научно-практической конференции «Логистика: современные тенденции развития», 2019 – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2019.– С. 337–343. (0,31/0,1).

**Монографии:**

44. Майоров, Н.Н. Прогнозирование развития морских пассажирских терминалов: монография / Н.Н. Майоров. – СПб.: ГУАП. – 2018.– 152 с. ISBN 978-5-80088-1277-2. (17,67).