На правах рукописи

ТЕЦЛАВ ИЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВИЧ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В АЭРОПОРТУ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

2.9.6 Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова».

Научный руководитель: **ЗАЙЦЕВ Евгений Николаевич,**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Организации и управления в транспортных системах» ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А. А. Новикова»

Официальные оппоненты: **СОКОЛОВ Борис Владимирович**,
доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, руководитель лаборатории – главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук»

ТАРАТУН Виталий Евгеньевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и логистики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»**

Защита состоится «16» февраля 2024 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 42.2.002.01 на базе ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А. А. Новикова, по адресу: 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38.

Тел.: (812) 704-18-18, факс: (812) 704-18-63, e-mail: info@spbguga.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова и на сайте:
https://spbguga.ru/files/Dissovet/42.2.002.01/Dissertacia_Teclav.pdf

Автореферат разослан «13» декабря 2023 года.

Ученый секретарь
Диссертационного совета 42.2.002.01
кандидат технических наук, доцент Н.Е. Баранов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Повышение интенсивности воздушных перевозок, потребность в увеличении пропускной способности и возникающие проблемы управления при обслуживании пассажиров в аэропорту требуют совершенствования методов принятия управленческих решений, средств автоматизации процессов эксплуатации воздушного транспорта и технических систем обучения авиационного персонала. В связи с этим целесообразно решить следующие научно-производственные проблемы по минимизации экономических, социальных и имиджевых потерь при эксплуатации воздушного транспорта: сокращение потерь времени на этапах обслуживания пассажиров в аэропорту; совершенствование технологий управления обслуживанием пассажиров с использованием автоматизированных средств принятия решений.

Научной задачей, решаемой в диссертации, является разработка методов и средств поддержки принятия решений, позволяющих минимизировать фактическое время обслуживания пассажиров в аэропорту с учетом факторов неопределенности для повышения эффективности эксплуатации воздушного транспорта.

Для решения этой научной задачи были исследованы работы в области планирования, организации и управления авиатранспортным производством. Существенными научными достижениями характеризуются работы А. М. Андронова, А. В. Губенко, Е. Н. Зайцева, Г. А. Крыжановского, В. А. Колясникова, В. И. Комашинского, Е. А. Куклева, И. Г. Малыгина, В. П. Маслакова, А. Р. Панкратовой, Е. Г. Пинаева, А. А. Соколова, Н. Н. Сухих, А. Н. Хижняка, В. Е. Чепиги, А. Р. Яшкина и др. Многие актуальные проблемы обслуживания пассажиров в аэропорту формулируются в терминах теории массового обслуживания. Большой вклад в развитие этой теории внесли российские математики А. Я. Хинчин, Б. В. Гнеденко, А. Н. Колмогоров, Е. С. Венцель и др.

Задачи моделирования наземного обслуживания авиарейсов исследовались в работах Г. В. Головченко, Е. В. Кониковой, И. Г. Шайдурова, Ю. М. Чинючина, но только в части процессов грузовых терминалов и наземного обслуживания воздушных судов (ВС). Модели и средства подготовки персонала в нештатных ситуациях исследовались Ю. Б. Остапченко. Исследования Т. А. Малышевой посвящены вопросам в области регулярности полетов ВС гражданской авиации. Ранее в моделях учитывались только некоторые количественные свойства элементов систем; например, в работе В. А. Романенко исследованы вероятностные модели процессов наземного обслуживания перевозок в аэропорту, в которых не учитываются состояние меняющейся во времени системы обслуживания и поведенческие особенности пассажиров.

Объект исследования – система управления обслуживанием пассажиров в аэропорту.

Предмет исследования – система поддержки принятия решений при управлении обслуживанием пассажиров в аэропорту в условиях неопределенности.

Цель диссертационного исследования – разработка методов и средств поддержки принятия решения с использованием матричного подхода и имитационного моделирования, позволяющего минимизировать время обслуживания пассажиров в аэропорту в условиях неопределенности.

Задачи исследования:

1. Анализ современного состояния функционирования аэропортов и проведение производственного эксперимента с целью определения фактического времени обслуживания пассажиров и факторов, влияющих на возникновение временных потерь при обслуживании пассажиров.

2. Разработка и обоснование ресурсно-временной и имитационной моделей автоматизации процесса поддержки принятия решения при управлении обслуживанием пассажиров в аэропорту, базирующихся на матричном подходе.

3. Разработка автоматизированной системы и алгоритма поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания

пассажиров в аэропорту в условиях неопределенности.

4. Разработка концепции автоматизированного тренажерного комплекса формирования навыков принятия решений диспетчерами наземных служб операторов аэропортов в условиях неопределенности при обслуживании пассажиров.

Научная новизна работы состоит в обосновании применения матричного подхода нестохастического имитационного моделирования в автоматизированных системах поддержки принятия решений в условиях неопределенности, учитывающего параметры элементов системы обслуживания пассажиров при решении слабоструктурированных задач.

Теоретическая значимость заключается в том, что разработанные матричные, аналитические и имитационные модели позволяют уменьшить неопределенность при определении параметров элементов системы обслуживания пассажиров, а также могут быть использованы в формировании автоматизированной системы поддержки принятия решений и концепции автоматизированного тренажерного комплекса формирования навыков управления ресурсами аэропорта.

Практическая значимость:

- Матричная модель структуризации свойств элементов системы позволяет выявлять критические значения параметров в условиях неопределенности их взаимодействия.
- Ресурсно-временная модель фактического времени выполнения работ по обслуживанию пассажиров позволяет учитывать параметры свойств элементов системы, обеспечивающих обслуживание пассажиров.
- Нестохастическая имитационная модель обслуживания пассажиров в аэропорту позволяет сократить время ожидания и количество пассажиров в очереди на этапах обслуживания относительно результатов производственного эксперимента.
- Автоматизированная система и алгоритм поддержки принятия решения позволяют повысить качество формирования плана обслуживания пассажиров и сократить время его реализации.
- Автоматизированная система поддержки принятия решения является основой при разработке автоматизированного тренажерного комплекса и учебно-методического обеспечения в системе подготовки, повышения квалификации и аттестации авиационного персонала.

Методология и методы исследования. Теоретической и методологической основой решения поставленных задач в работе являются отечественные и зарубежные труды в области организации и развития транспортных систем; методы анализа функционирования авиационных транспортных узлов; методы исследования и анализа обслуживания пассажиров в аэропортах; публикации в периодических изданиях и материалах научно-практических конференций. В качестве основных методов исследования были использованы статистический анализ, методы системного анализа и синтеза, математическое моделирование технологических процессов обслуживания пассажиров в аэропорту с использованием матричного подхода; имитационное моделирование.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Матричная модель структуризации параметров свойств элементов системы, обеспечивающих обслуживание пассажиров.
2. Ресурсно-временная модель фактического времени обслуживания пассажиров, разработанная на основе матричной модели, которая, в отличие от классических дискретно-событийных моделей систем массового обслуживания, учитывает изменения параметров элементов системы.
3. Нестохастическая имитационная модель обслуживания пассажиров в аэропорту, разработанная на основе матричной и ресурсно-временной моделей.
4. Алгоритм планирования ресурсов аэропорта и формирования плана обслуживания пассажиров с использованием автоматизированной системы поддержки принятия решения на базе разработанной нестохастической имитационной модели при взаимодействии с АСУ «Кобра-2».

5. Концепция автоматизированного тренажерного комплекса, направленная на создание системы совершенствования формирования навыков управления ресурсами аэропорта при подготовке, повышении квалификации и аттестации авиационного персонала.

Достоверность полученных результатов и адекватность основных положений подтверждаются:

- корректностью применения апробированных научных методов решения задач и положительными отзывами специалистов при обсуждении на научно-практических, в том числе и международных, конференциях;
- экспертизой публикаций, отражающих основные результаты диссертации, в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях;
- валидацией нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту, выполненной при сравнении результатов калибровочного и производственного экспериментов.

Степень достоверности и апробацию результатов проведенных исследований обеспечивают:

- апробация результатов исследований на пяти международных научно-практических конференциях («Международный авиационный ИТ-форум» в Санкт-Петербурге, 2017, 2018 гг.; «Международный инновационный форум пассажирского транспорта SmartTRANSPORT» в Санкт-Петербурге, 2017, 2019, 2021 гг.); на шести всероссийских научно-практических конференциях («Технологии построения когнитивных транспортных систем» в Санкт-Петербурге, 2018 г.; «Транспорт России: Проблемы и перспективы» в Санкт-Петербурге, 2017, 2019, 2020 гг.; «Актуальные проблемы защиты и безопасности» в Санкт-Петербурге, 2016, 2021 гг.);
- оценка организационного комитета по проведению конкурса «Молодые ученые транспортной отрасли» Министерства транспорта РФ с присвоением первого места за работу «Метод организации обслуживания пассажиров в аэровокзале в условиях сохранения рисков распространения COVID-19 с использованием имитационного моделирования» по направлению «Цифровизация транспортного комплекса Российской Федерации»;
- свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (рег. № 2020619940, 26.08.2020. – М.: Роспатент, 2020) и акт внедрения в российской компании – разработчике программного обеспечения АО «РИВЦ-Пулково» разработанной автоматизированной системы поддержки принятия решения при управлении обслуживанием пассажиров в аэропорту на базе программного комплекса взаимодействия разработанной имитационной модели и АСУ «Кобра-2».

Результаты работы включают исследование закономерностей и факторов, влияющих на функционирование воздушного транспорта, в силу чего диссертация соответствует паспорту специальности 2.9.6. «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники» в части следующих пунктов раздела «Направления исследований»:

п. 1. Управление процессами эксплуатации воздушных судов, их функциональных систем и комплексов, наземных средств обеспечения полетов.

п. 2. Совершенствование методов и средств управления и планирования полетов, механизации и автоматизации процессов эксплуатации воздушного транспорта.

п. 15. Совершенствование технических средств обучения, систем подготовки, переподготовки, повышения квалификации и аттестации авиационного персонала.

Публикации. По результатам исследования опубликовано 27 научных трудов: 9 статей в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ, из них 7 статей по научной специальности 2.9.6. «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники», 11 статей в сборниках материалов конференций.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Количество страниц машинописного текста 132, 16 таблиц, 44 рисунка, 162 источника в списке литературы и 6 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, дана оценка степени разработанности темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость. Изложены положения, выносимые на защиту. Отражены апробация и внедрение результатов исследования.

В первой главе исследовались современное состояние функционирования аэропортов и методы моделирования процессов обслуживания пассажиров. Проведен анализ работы авиационной транспортно-логистической системы (АвиаТЛС) как элемента смешанной перевозки и поставлена задача минимизации времени простоя воздушных судов в АвиаТЛС, включающей всех участников авиационной перевозки: «АвиаТЛУ-1 – Система ОрВД – АвиаТЛУ-2»; эта задача должна решаться по принципу партнерства, ориентированному на потребителя перевозки с целью минимизации стоимости билета на воздушном транспорте и повышения уровня мобильности населения страны.

Структурная декомпозиция авиационной транспортно-логистической системы даёт возможность рассмотреть системы, участвующие в процессах перевозок, подсистемы и их элементы, а также учесть влияние внутренних и внешних факторов по уровням иерархии; определить и рассмотреть этапы взаимодействия между всеми участниками транспортного процесса. В этом смысле АвиаТЛС и её авиационные транспортно-логистические узлы (АвиаТЛУ) рассматриваются как транспортный комплекс, состоящий из взаимосвязанных систем «Аэропорт (Операторы аэропорта) – Авиакомпания – ОрВД» (рисунок 1), которые должны работать во взаимодействии с целью повышения темпа производства транспортной продукции. В АвиаТЛУ технологические этапы подготовки рейса и обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС» включают фазы вылета «В» и «Г», а фазы «А» и «Б» – послеполетное обслуживание.

Регулярность полетов воздушных судов является критически важным критерием оценки работы авиакомпаний и операторов аэропортов, поскольку влияет на общую эффективность воздушного транспорта. Под регулярностью понимается способность авиакомпании выполнять рейсы по расписанию. Регулярность тесно связана с пунктуальностью – выполнением работ на всех этапах подготовки, основанных на принципах логистики «точно в срок» и «от двери до двери». Совершенствование управления производством на принципах логистики позволяет синхронизировать работу отдельных подсистем в едином технологическом процессе.

Своевременное выполнение технологических процессов подготовки авиарейса в аэропорту определяет начало оценки пунктуальности, которое зависит от того, когда ВС начнет движение по аэродрому.

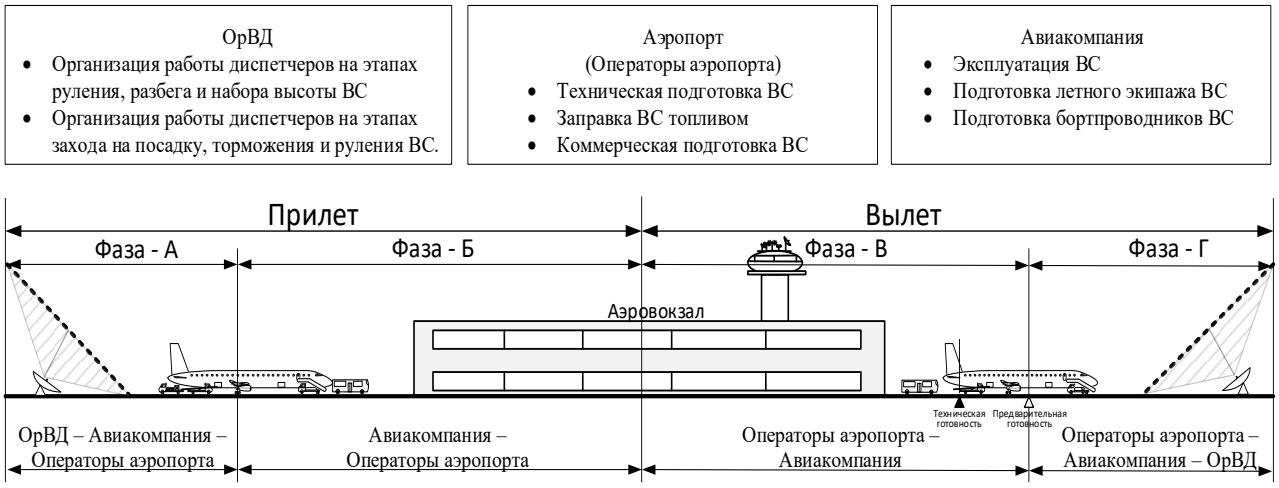


Рисунок 1 - Структура авиационного транспортно-логистического узла

В связи с этим произведена декомпозиция технологических процессов в АвиаТЛУ и рассмотрены этапы обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС», а также фактический результат работы аэропорта при воздействии различных факторов (рисунок 2). Повышение пунктуальности выполнения технологических процессов подготовки авиарейса позволит точнее управлять графиком обслуживания и движения ВС, увеличить налет, повысить эффективность работы авиакомпаний и операторов аэропортов, снизить цены на авиабилеты, что положительно скажется на конкурентоспособности воздушного транспорта.

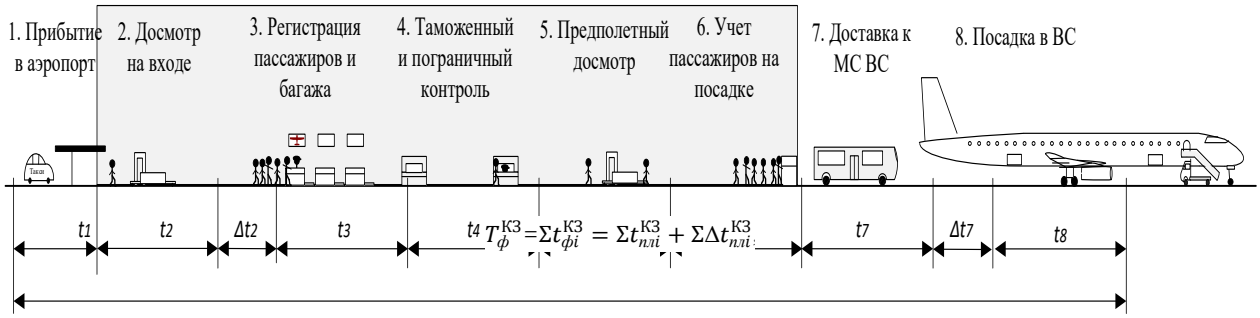


Рисунок 2 - Фактический результат работы системы подготовки пассажиров к рейсу

В ходе исследования была разработана методика и проведен производственный эксперимент по выявлению проблем и факторов, влияющих на обслуживание пассажиров в некоторых аэропортах РФ. Он позволил дать характеристики свойств пассажиров, персонала и технических средств обслуживания пассажиров; определить фактическое значение времени выполнения технологических операций и факторов, влияющих на расчетные эксплуатационные значения показателей выполнения обслуживания пассажиров. Так, время, за которое пассажиры прибывают в аэропорт до вылета ВС по расписанию, составляет от 4 часов до 30 минут. Наибольшей интенсивности поток пассажиров на рейсы достигает в интервале 40-60 минут до вылета, когда прибывают около 40 % всех пассажиров. Замеры времени ожидания обслуживания и обслуживания пассажиров на этапах предполетной подготовки подтверждают напряжённость в зонах обслуживания и выявляют неготовность служб операторов аэропортов к скачкообразному увеличению количества пассажиров вследствие повышения интенсивности входящего потока в пиковые периоды, а также при прибытии групп пассажиров в периоды проведения массовых мероприятий. Наибольшие отклонения времени выполнения технологических операций от нормативных значений происходят на этапах входного досмотра и регистрации. Анализ результатов проведённого производственного эксперимента выявил проблемы в области управления потоками пассажиров и показал необходимость учета индивидуальных свойств пассажиров (классы обслуживания, особые категории пассажиров с учётом их возрастных и мобильных особенностей, наличия ручной клади и багажа с вероятностью обнаружения запрещённых предметов в них и т.д.).

Большое влияние на результаты работы аэропортов оказывают обеспеченность и уровень подготовки персонала, состояние материально-технического оборудования аэровокзалов, развитие системы управления обслуживания пассажиров, санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия (социальное дистанцирование в местах потенциального скопления пассажиров, задействование минимального количества персонала для работы в аэропорту), усиление мер безопасности и пропускного режима в аэропорту.

Для определения продолжительности обслуживания пассажиров предлагается матричный подход представления и анализа информации, который является инструментом системного анализа. Матрицы используются для структурно-функциональной декомпозиции структур и процессов систем, раскрывают внутренние связи между элементами и их параметрами, необходимыми для разработки математических моделей оценки

эффективности управления производственными процессами, этапами и операциями. Для решения трудоемких задач управления используются имитационные модели. Когда аналитическое решение задачи исследования процесса существенно затруднено или невозможно, предлагается применять нестохастическое имитационное моделирование, учитывающее параметры элементов системы обслуживания пассажиров при решении слабоструктурированных задач.

Эффективное управление технологическими этапами обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС» должно быть основано на следующих принципах обеспечения пунктуальности «точно вовремя» подготовки пассажиров и выполнения рейсов: единый методологический подход (при выполнении анализа, систематизации логистических процессов, формирования системы поддержки принятия решений и синтеза комплексной системы управления в аэропорту); системность; комплексность; пунктуальность; матричная форма систематизации элементов и их параметров, позволяющая уменьшить неопределенность информации при выполнении производственного процесса в аэропорту на всех этапах и операциях подготовки и выполнения авиарейса; модульность; когнитивное управление. Данная постановка задачи определяет актуальность темы диссертационной работы и необходимость поиска путей решения задач поддержки принятия решений в системе управления обслуживанием пассажиров в аэропорту с использованием нестохастического имитационного моделирования.

Вторая глава посвящена исследованию системы управления обслуживанием пассажиров в аэропорту. В ходе иерархической и функциональной декомпозиции сформированы система обслуживания пассажиров (таблица 1), подсистема и модули (таблица 2); определены элементы, обеспечивающие процесс обслуживания пассажиров, и описаны свойства этих элементов. Декомпозиция подсистемы обслуживания вылетающих пассажиров представляет собой вариант структуризации по модульному принципу. Модуль состоит из взаимосвязанных и взаимодействующих элементов системы и может быть рассмотрен в качестве структурной единицы (например, матричная модель модуля «Принятие пассажира на рейс»). Эффективность работы подсистемы зависит от результата взаимодействия ее модулей. Безотказная работа модулей обеспечивается наилучшим сочетанием значений параметров свойств и состояний элементов, взаимодействующих межу собой.

Результат работы на *k*-х операциях рассматриваемой подсистемы обеспечивают следующие элементы и их свойства.

1. Предметы труда: пассажиры *k*-й операции ($P_{1.3\ k.}$), обладающие различными свойствами (количество пассажиров (один/группа), возраст пассажиров, уровень общего состояния здоровья каждого пассажира, маломобильность, направление перелета, класс обслуживания пассажиров, тип маршрута и т.д.)

2. Технологический процесс *k*-й операции ($P_{2.3\ k.}$): описывается характеристика выполняемого процесса временными параметрами (начальное время обслуживания, конечное время обслуживания, плановое время обслуживания, фактическое время обслуживания и т.д.)

3. Персонал *k*-й операции ($P_{3.3\ k.}$): исполнители технологических процессов, обладающие требуемыми для выполняемого процесса свойствами (коммуникабельность, знание иностранных языков, производительность, количество персонала, возраст, уровень общего состояния здоровья персонала и т.д.) и готовые выполнять свои функции.

4. Средства труда *k*-й операции ($P_{4.3\ k.}$) – техника, приборы, оборудование: определяют тип, вид техники, ее свойства (язык интерфейса, возможность работы с пассажирами особых категорий, производительность, количество техники, эргономичность, срок эксплуатации) и готовность к выполнению их функций.

5. Энергообеспечение *k*-й операции ($P_{5.3\ k.}$): обеспечение всех элементов требуемым количеством топлива, электроэнергии, тепла и т.д. для выполнения работ (электроснабжение

техники, приборов, оборудования рабочих зон, теплоснабжение рабочих зон).

6. Коммуникации *k*-й операции ($P_{6.3\ k.}$): зоны облуживания пассажиров, зоны для работы техники и персонала (площадь зоны обслуживания, площадь рабочей зоны для персонала, площадь рабочей зоны для техники, приборов и оборудования, язык визуального информирования).

7. Экология *k*-й операции ($P_{7.3\ k.}$): требования по экологии ко всем элементам.

8. Безопасность *k*-й операции ($P_{8.3\ k.}$): требования по безопасности ко всем элементам.

Таблица 1 - Матричная структура системы обслуживания пассажиров

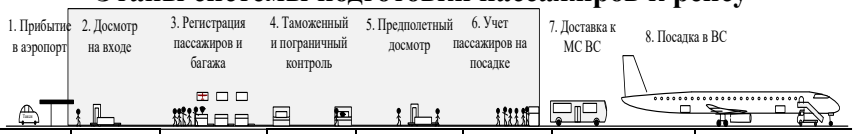
	Элементы системы	**Этапы системы подготовки пассажиров к рейсу** 							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Пассажиры	$P_{1.1.}$	$P_{1.2.}$	$P_{1.3.}$	$P_{1.4.}$	$P_{1.5.}$	$P_{1.6.}$	$P_{1.7.}$	$P_{1.8.}$
2	Технологический процесс	$P_{2.1.}$	$P_{2.2.}$	$P_{2.3.}$	$P_{2.4.}$	$P_{2.5.}$	$P_{2.6.}$	$P_{2.7.}$	$P_{2.8.}$
3	Персонал	$P_{3.1.}$	$P_{3.2.}$	$P_{3.3.}$	$P_{3.4.}$	$P_{3.5.}$	$P_{3.6.}$	$P_{3.7.}$	$P_{3.8.}$
4	Техника	$P_{4.1.}$	$P_{4.2.}$	$P_{4.3.}$	$P_{4.4.}$	$P_{4.5.}$	$P_{4.6.}$	$P_{4.7.}$	$P_{4.8.}$
5	Энергообеспечение	$P_{5.1.}$	$P_{5.2.}$	$P_{5.3.}$	$P_{5.4.}$	$P_{5.5.}$	$P_{5.6.}$	$P_{5.7.}$	$P_{5.8.}$
6	Коммуникации	$P_{6.1.}$	$P_{6.2.}$	$P_{6.3.}$	$P_{6.4.}$	$P_{6.5.}$	$P_{6.6.}$	$P_{6.7.}$	$P_{6.8.}$
7	Экология	$P_{7.1.}$	$P_{7.2.}$	$P_{7.3.}$	$P_{7.4.}$	$P_{7.5.}$	$P_{7.6.}$	$P_{7.7.}$	$P_{7.8.}$
8	Безопасность	$P_{8.1.}$	$P_{8.2.}$	$P_{8.3.}$	$P_{8.4.}$	$P_{8.5.}$	$P_{8.6.}$	$P_{8.7.}$	$P_{8.8.}$

Таблица 2 - Матричная структура *n*-й подсистемы регистрации пассажиров и багажа (слева); матричная структура модуля 3 4 «Принятие пассажира на рейс» (справа)

	Элементы системы	Операции				
		1	2	3	…	k
1	Пассажиры	$P_{1.3\ 1.}$	$P_{1.3\ 2.}$	$P_{1.3\ 3.}$	$P_{1.3\ ...}$	$P_{1.3\ k.}$
2	Технологический процесс	$P_{2.3\ 1.}$	$P_{2.3\ 2.}$	$P_{2.3\ 3.}$	$P_{2.3\ ...}$	$P_{2.3\ k.}$
3	Персонал	$P_{3.3\ 1.}$	$P_{3.3\ 2.}$	$P_{3.3\ 3.}$	$P_{3.3\ ...}$	$P_{3.3\ k.}$
4	Техника	$P_{4.3\ 1.}$	$P_{4.3\ 2.}$	$P_{4.3\ 3.}$	$P_{4.3\ ...}$	$P_{4.3\ k.}$
5	Энергообеспечение	$P_{5.3\ 1.}$	$P_{5.3\ 2.}$	$P_{5.3\ 3.}$	$P_{5.3\ ...}$	$P_{5.3\ k.}$
6	Коммуникации	$P_{6.3\ 1.}$	$P_{6.3\ 2.}$	$P_{6.3\ 3.}$	$P_{6.3\ ...}$	$P_{6.3\ k.}$
7	Экология	$P_{7.3\ 1.}$	$P_{7.3\ 2.}$	$P_{7.3\ 3.}$	$P_{7.3\ ...}$	$P_{7.3\ k.}$
8	Безопасность	$P_{8.3\ 1.}$	$P_{8.3\ 2.}$	$P_{8.3\ 3.}$	$P_{8.3\ ...}$	$P_{8.3\ k.}$

	Элементы системы	Операция «Принятие пассажира на рейс»
1	Пассажиры	$P_{1.3\ 4.}$
2	Технологический процесс	$P_{2.3\ 4.}$
3	Персонал	$P_{3.3\ 4.}$
4	Техника	$P_{4.3\ 4.}$
5	Энергообеспечение	$P_{5.3\ 4.}$
6	Коммуникации	$P_{6.3\ 4.}$
7	Экология	$P_{7.3\ 4.}$
8	Безопасность	$P_{8.3\ 4.}$

Элементы модулей, обеспечивающих обслуживание пассажиров, взаимодействуя

между собой или со средой (внешней и внутренней), влияют на свойства друг друга, вследствие чего происходит изменение значений их параметров.

Рассмотрим математическую модель определения фактического времени, чувствительную к изменениям свойств элементов, которые зависят от неопределенности влияния различных факторов.

Плановое время выполнения $T^{пл}$ технологического процесса элемента 2 матрицы системы обслуживания пассажиров представляет собой сумму времени выполнения этапов $t_n^{пл}$:

$$T^{пл} = t_1^{пл} + t_2^{пл} + t_3^{пл} + t_4^{пл} + t_5^{пл} + t_6^{пл} + t_7^{пл} + t_8^{пл}. \quad (1)$$

Фактическое время выполнения $T^{ф}$ технологического процесса элемента 2 матрицы системы обслуживания пассажиров представляет собой сумму фактического времени выполнения этапов $t_n^{ф}$:

$$T^{ф} = t_1^{ф} + t_2^{ф} + t_3^{ф} + t_4^{ф} + t_5^{ф} + t_6^{ф} + t_7^{ф} + t_8^{ф} =$$

$$= (t_1^{пл} + \Delta t_1) + (t_2^{пл} + \Delta t_2) + (t_3^{пл} + \Delta t_3) + (t_4^{пл} + \Delta t_4) + (t_5^{пл} + \Delta t_5) + (t_6^{пл} + \Delta t_6) + (t_7^{пл} + \Delta t_7) + (t_8^{пл} + \Delta t_8). \quad (2)$$

Плановое время выполнения n-го этапа, состоящего из k-х операций:

$$t_n^{пл} = t_{n1}^{пл} + t_{n2}^{пл} + ... + t_{nK}^{пл}. \quad (3)$$

Фактическое время выполнения n-го этапа:

$$t_n^{ф} = t_{n1}^{ф} + t_{n2}^{ф} + ... + t_{nK}^{ф} = (t_{n1}^{пл} + \Delta t_{n1}) + (t_{n2}^{пл} + \Delta t_{n2}) + ... + (t_{nk}^{пл} + \Delta t_{nK}). \quad (4)$$

Фактическое время $t_{n.k}^{ф}$ выполнения k-й операции n-го этапа технологического процесса обслуживания пассажиров:

$$t_{nk}^{ф} = t_{nk}^{пл} + \Delta t_{nk} = \frac{t_{nk}^{пл}}{t_{nk}^{пл}}(t_{nk}^{пл} + \Delta t_{nk}) = t_{nk}^{пл}\left(1 + \frac{\Delta t_{nk}}{t_{nk}^{пл}}\right) = t_{nk}^{пл} \cdot K_{nk}^{t^{ф}}, \quad (5)$$

где $t_{n.k}^{пл}$ – плановое время k-й операции n-го этапа, мин;

$K_{n.k}^{t^{ф}}$ – коэффициент изменения времени выполнения работ, учитывающий отклонения фактического времени выполнения k-й операции n-го этапа от планового времени.

Рассмотрим фактическое время $t_{n.k}^{ф}$ выполнения k-й операции n-го этапа технологического процесса обслуживания пассажиров через производительность ресурсов, обеспечивающих обслуживание пассажиров:

$$t_{nk}^{ф} = \frac{N_{пс.nk}^{пл}}{p_{nk}^{ф}} = \frac{N_{пс.nk}^{пл}}{\frac{N_{пс.nk}^{пл}}{t_{nk}^{ф}}} = \frac{N_{пс.nk}^{пл}}{\frac{N_{пс.nk}^{пл}}{t_{nk}^{пл}\left(1 + \frac{\Delta t_{nk}}{t_{nk}^{пл}}\right)}} = \frac{N_{пс.nk}^{пл}}{\frac{N_{пс.nk}^{пл}}{t_{nk}^{пл} \cdot K_{nk}^{t^{ф}}}} = \frac{N_{пс.nk}^{пл} \cdot K_{nk}^{t^{ф}}}{p_{nk}^{пл}}. \quad (6)$$

Коэффициент изменения времени выполнения работ k-й операции в результате влияния элементов k-го модуля n-й подсистемы фактора:

$$K_{n.k}^{t^{ф}} = \prod_{i=1}^{I} k_{i,nk} = k_{пс,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{пр,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{т,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{эн,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{км,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{эк,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{б,nk}^{t^{ф}}, \quad (7)$$

где $k_{пс,nk}$ – коэффициент влияния параметров свойств пассажиров на время выполнения работ k-го модуля n-й подсистемы обслуживания пассажиров;

$k_{пр,nk}$ – коэффициент влияния параметров свойств персонала на время выполнения работ k-го модуля n-й подсистемы обслуживания пассажиров;

$k_{т,nk}$ – коэффициент влияния параметров свойств средств труда на время выполнения работ

k-го модуля *n*-й подсистемы обслуживания пассажиров;

$k_{эн,nk}$ – коэффициент влияния параметров энергообеспечения на время выполнения работ *k*-го модуля *n*-й подсистемы обслуживания пассажиров;

$k_{км,nk}$ – коэффициент влияния параметров свойств коммуникаций (зон обслуживания и рабочих мест) на время выполнения работ *k*-го модуля *n*-й подсистемы обслуживания пассажиров;

$k_{эк,nk}$ – коэффициент влияния параметров экологии на время выполнения работ *k*-го модуля *n*-й подсистемы обслуживания пассажиров;

$k_{б,nk}$ – коэффициент влияния параметров безопасности на время выполнения работ *k*-го модуля *n*-й подсистемы обслуживания пассажиров.

Коэффициенты влияния элементов определяются экспертной оценкой параметров свойств элементов, обеспечивающих обслуживание пассажиров на основе матрицы взаимодействия. Опасные сочетания свойств и состояний, выходящих за нормативные или плановые значения, могут приводить к нарушениям работы как модуля, так и всей подсистемы, что предполагает необходимость их учета и обусловливает принятие решения и управленческое воздействие на элементы для восстановления нормального функционирования подсистемы.

Система управления обслуживанием пассажиров на *n*-м этапе в аэропорту формируется в виде кибернетического контура, в состав которого входят: объект управления (матричные модели операций и элементов их выполняющих); организация выполнения работ; система управления, принимающая решение на *n*-м этапе; обратная связь; информация о фактическом состоянии параметров элементов на *k*-х операциях и на всем *n*-м этапе; план выполнения работ на *k*-х операциях и на всем *n*-м этапе; контроль и учет отклонения фактического состояния параметров процесса от планового на *k*-х операциях и на всем *n*-м этапе; управляющее воздействие – разработанное и принятое в системе решение, направленное на исправление отклонения параметров в матрицах объекта управления на операциях как результат принятия решения (приказ, распоряжение, вариант исправления ситуации) с целью минимизации приращения времени как на операциях $\Delta t_{n.k}$, так и на этапе в целом ΔT_n .

С развитием автоматизированных систем управления аэропортовым производством появились системы управления ресурсами (Resource Management System, RMS), функциональными возможностями которых является планирование емкости временных интервалов, составление графиков полетов и расчёты потребностей в ресурсах в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективах. В основу алгоритмов работы RMS заложены человеческий опыт, требования бизнес-процессов – нормативы по договорам с авиакомпаниями, в том числе договоры о качестве предоставления услуг (Service Level Agreement, SLA), стандарты аэропорта, нормативных документов РФ и рекомендаций ИАТА.

В третьей главе разработана структура автоматизированной системы поддержки принятия решения с использованием нестохастической имитационной модели (АС ППР НИМ) обслуживания пассажиров в аэропорту (рисунок 3). Принципы Индустрии 4.0 сегодня определяют необходимость развития автоматизированных систем управления технологическими процессами в аэропорту, разработанных на базе киберфизических систем.

Структура АС ППР НИМ обслуживания пассажиров в аэропорту позволяет разрабатывать новые алгоритмы процессов принятия решений. Для этого в АС управления технологическими процессами в аэропорту должны быть включены модули, например, АСУ «Кобра 2»:

1. Расписание движения ВС (РДС).
2. Оперативное управление суточным планом полетов (Интеграл).
3. Центр сообщений для обработки телеграмм (ЦС).

4. Контроль технологических графиков обслуживания рейсов.
5. Аналитическая отчетность (Аналитика).
6. Планирование и управление терминальными ресурсами (TRMS).
7. Управление динамическими ресурсами (MRMS).
8. Мобильные рабочие места (МРМ).
9. Контроль досмотра пассажиров и багажа (КДПБ).

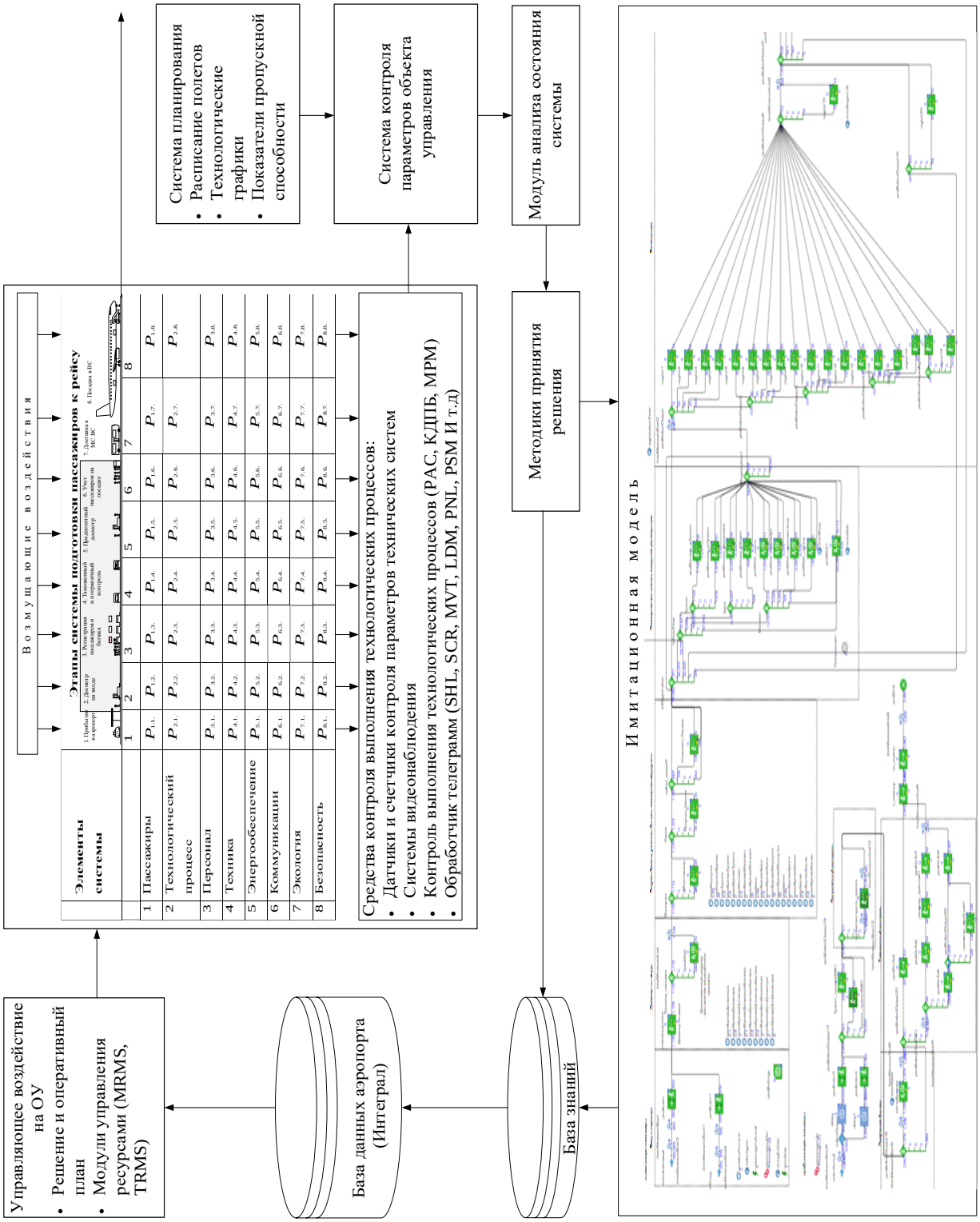


Рисунок 3 - Структура АС ППР НИМ обслуживания пассажиров в аэропорту

Нестохастическая имитационная модель обслуживания пассажиров в аэропорту с использованием матричного подхода учитывает свойства элементов модулей и результаты производственного эксперимента. Главной особенностью нестохастической имитационной

модели (цифрового двойника) является возможность подключить её к физическому оригиналу путём передачи данных от множества установленных на ней датчиков и других средств контроля параметров состояния элементов системы. В результате цифровой двойник функционирует параллельно с реальным объектом и может применяться для диагностики, прогнозирования поведения объекта в сбойных ситуациях и комплексной оптимизации процесса обслуживания пассажиров.

На основе исходных данных аэровокзального комплекса аэропорта Санкт-Петербург (Пулково) в среде Anylogic 8 была разработана агентная имитационная модель, моделирующая движение и обслуживание вылетающих пассажиров. При разработке использовались библиотека моделирования процессов и пешеходная библиотека, являющаяся инструментом моделирования пешеходных потоков для получения аналитических данных о поведении пешеходов в физическом пространстве – пассажиров, передвигающихся в здании аэровокзала. В моделях Anylogic пассажир передвигается по этапам обслуживания согласно заданным правилам в соответствии с моделью социальных сил. Моделируется взаимодействие с окружающими объектами (стены, препятствия, эскалаторы, различные объекты) и остальными пассажирами и обслуживающим персоналом с целью избежать возможных столкновений пассажиров при движении.

В модели особенности передвижения и обслуживания различных категорий (типов) пассажиров задаются на основе функциональных блоков схемы модели, диаграмм состояний и параметров агентов (рисунок 4), моделирующих соответствующие категории пассажиров. При этом имеется возможность задания пассажирам индивидуальных свойств, а также использования механизмов создания групп пассажиров.

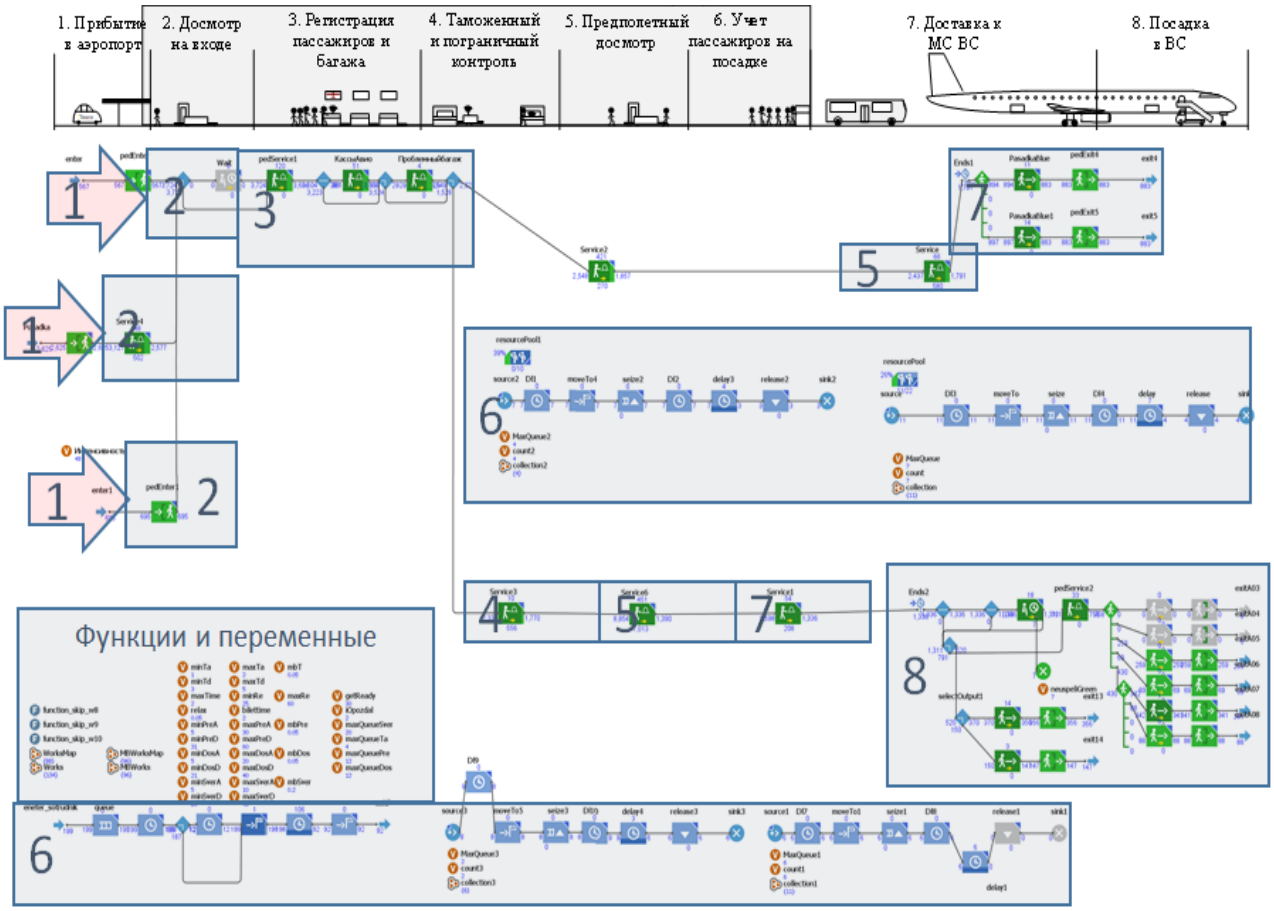


Рисунок 3 - Функциональная блок-схема
модели обслуживания пассажиров в Anylogic 8

Интерфейс имитационной модели состоит из анимационного представления обслуживания пассажиров по заданному сценарию; элементов управления моделью (рисунок 5); карт плотности, графиков и гистограмм результатов имитационного эксперимента.

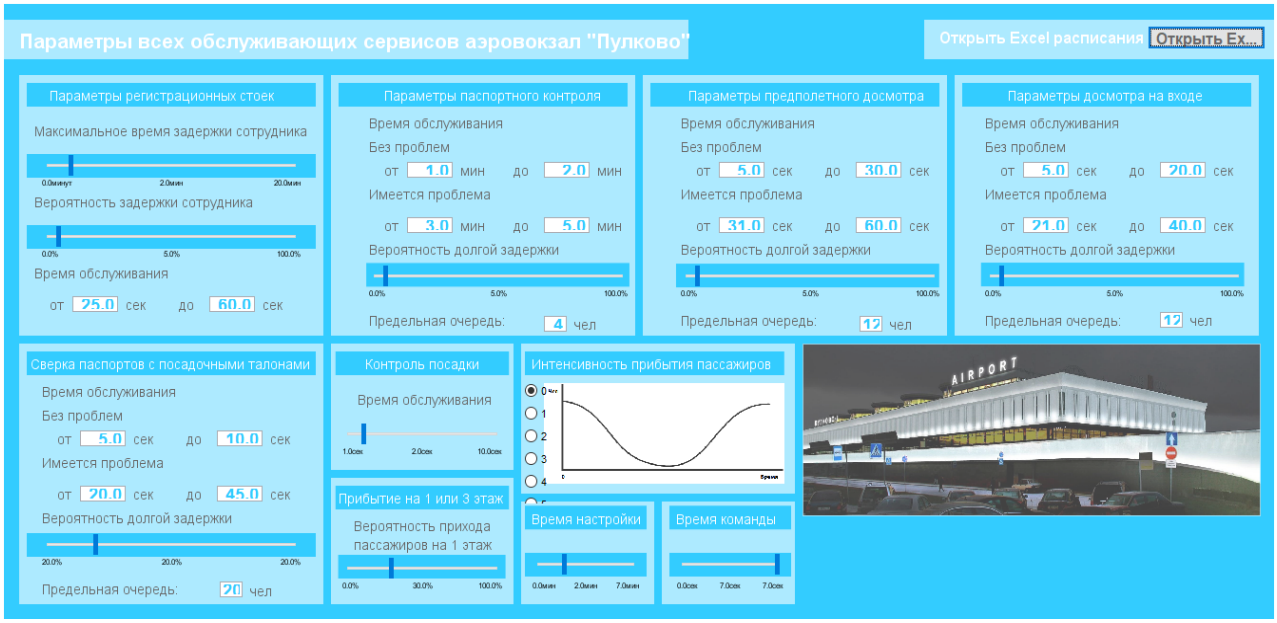


Рисунок 4 - Интерфейс изменения параметров в интерактивном режиме ИМ

Проведение калибровочных экспериментов (рисунок 6) с целью улучшения модели на очередном шаге итерационной процедуры снижает погрешность имитации и повышает чувствительность соответствующих параметров свойств моделируемых элементов по сравнению с результатами производственного эксперимента.

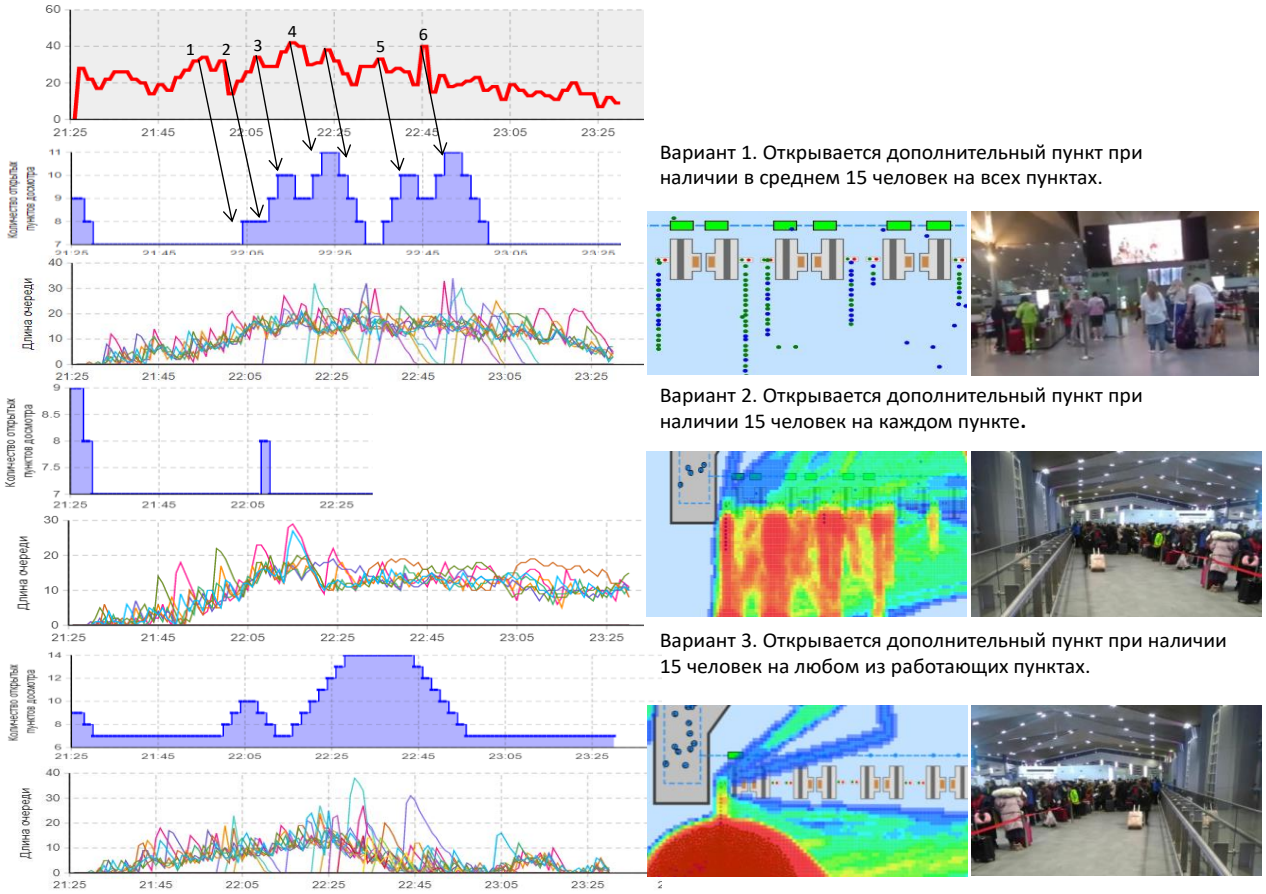


Рисунок 5 - Результаты калибровочного эксперимента на этапах досмотра и регистрации

Применение имитационного моделирования, основанного на новых принципах, уменьшает неопределенность изменений параметров свойств элементов и позволяет проактивно управлять технологическими процессами в аэропорту с целью минимизации

ресурсно-временных издержек. Предложенные матричный подход структуризации и нестохастическая имитационная модель обслуживания пассажиров доведены до программной реализации, что позволяет автоматизировать процессы поддержки принятия решения при управлении обслуживанием пассажиров.

В четвёртой главе разработан алгоритм поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту, основанной на экспертной оценке результатов имитационных экспериментов. Карта плотности и анимационное представление обслуживания пассажиров (рисунок 7) дают возможность оценить нагруженные участки зон обслуживания, распределение количества пунктов обслуживания в течение времени, интенсивность входящего потока пассажиров в аэровокзал, ожидание и фактическое время прохождения пассажирами пунктов обслуживания, количество пассажиров в очереди.

Алгоритм принятия решения в системе управления обслуживанием пассажиров учитывает не только состояние меняющихся во времени свойств элементов системы обслуживания, но и индивидуальные особенности пассажиров и персонала. Это позволяет повысить качество формирования плана обслуживания пассажиров и сократить время его реализации.

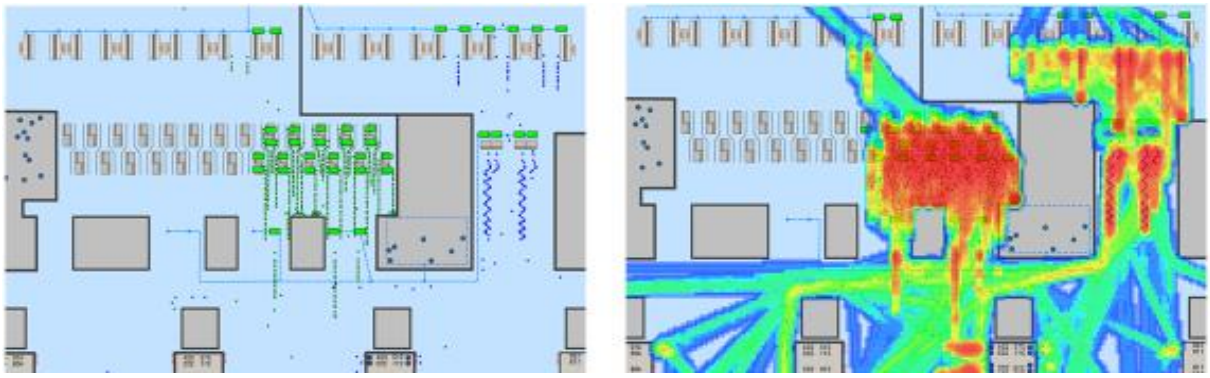


Рисунок 6 - Карта плотности и анимационное представление обслуживания пассажиров в процессе прогона имитационной модели

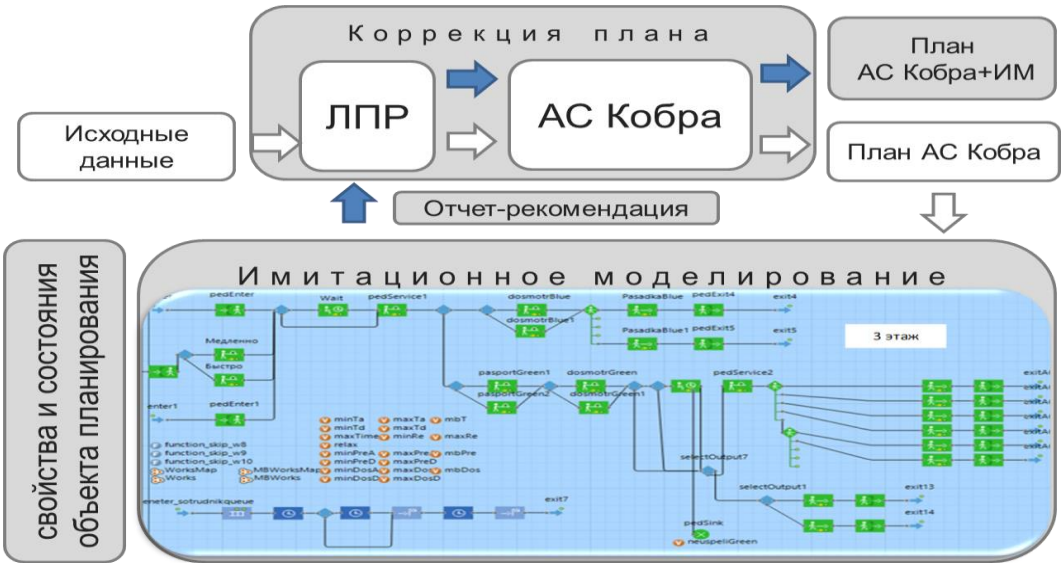


Рисунок 7 - Формирование плана обслуживания пассажиров с использованием АС «Кобра-2» и имитационной модели

Алгоритм формирования суточного плана обслуживания пассажиров в аэропорту и его выполнения в оперативном контуре с использованием АС «Кобра-2» и нестохастической имитационной модели состоит из последовательных этапов (рисунок 8):

1. Выгрузка файла с исходными данными из АС «Кобра-2».
2. Подготовка файла исходных данных.
3. Формирование плана распределения ресурсов в АС «Кобра-2».
4. Загрузка сформированного плана распределения ресурсов в имитационной модели (ИМ).
5. Выгрузка из имитационной модели результатов имитационных экспериментов в виде экспресс-отчетов для лица, принимающего решение (ЛПР).

Матрица взаимодействия элементов, участвующих в выполнении процессов обслуживания пассажиров, дает возможность в результате экспертной оценки определить параметры и наилучшие сочетания их значений, тем самым уменьшить влияние коэффициента изменения времени и сократить время обслуживания, что способствует повышению оперативности и обоснованности принятия соответствующих управленческих решений в условиях неопределенности.

В результате нестохастического имитационного моделирования получены параметры времени обслуживания пассажиров, значительно меньшие по сравнению с результатами производственного эксперимента: до 10 % при досмотре на входе и до 20 % – на регистрации.

Расчет и визуализация результатов служат для диспетчеров служб операторов аэропорта основанием для коррекции плана использования ресурсов в рамках процесса оперативного планирования и управления ресурсами (ОПУР), автоматизированным комплексом модулей АСУ «Кобра-2» TRMS и MRMS. Диспетчер корректирует значения параметров, на основании которых система перераспределяет ресурсы на проблемных этапах обслуживания.

При выполнении обслуживания пассажиров проверка плана в ИМ в динамически изменяющейся обстановке позволяет уменьшить потери времени и простой ресурсов при перераспределении их на более загруженные участки, что позволяет не только повысить эффективность системы на 5-10 %, но и обеспечивает своевременное прибытие пассажира к посадке на ВС. Планируемые к реализации меры могут быть оценены в системе диспетчером с целью проверки их эффективности до или во время их фактической реализации.

В связи с тем, что с каждым годом изменяются условия работы транспортных систем, технологии и системы управления, применяемые в транспортном производстве, многократно возрастают как вероятность совершения ошибок операторами, так и вес этих ошибок. Во многом причинами катастроф и сбойных ситуаций на объектах транспортной инфраструктуры является человеческий фактор. Недостаточный уровень подготовки персонала при выполнении постоянно развивающихся технологических процессов, разнообразие условий работы, слабый уровень взаимодействия между диспетчерами структурных подразделений операторов аэропорта; разнообразие свойств персонала, необходимых при выполнении технологических операций в реальных условиях (штатных, нештатных и сбойных) затрудняет поддержание профессиональной готовности персонала.

Предложена концепция автоматизированного тренажерного комплекса на базе автоматизированной системы поддержки принятия решения, направленная на создание системы совершенствования формирования навыков управления ресурсами аэропорта при подготовке, повышении квалификации и аттестации авиационного персонала. Автоматизированный тренажерный комплекс подготовки диспетчерского состава наземных служб оператора аэропорта (рисунок 9) – сложная техническая система, включающая следующие компоненты:

- Автоматизированные рабочие места обучаемых (АРМО) и инструкторов обучения (ИО).
- АС ППР НИМ, моделирующая нештатные ситуации с указанием проблемной области, выработки решения и его реализации.
- Планы подготовки обучаемых и формирования навыков принятия решений.
- Система регистрации и оценки хода тренировки (СРХТ) на этапах

технологического процесса.

- Система визуализации технологического процесса (СВТП), воспроизводящая оперативную обстановку, визуализацию наблюдения за действиями обучаемых и контроля психофизиологического состояния обучаемого, а также показания средств информации и положения органов управления.

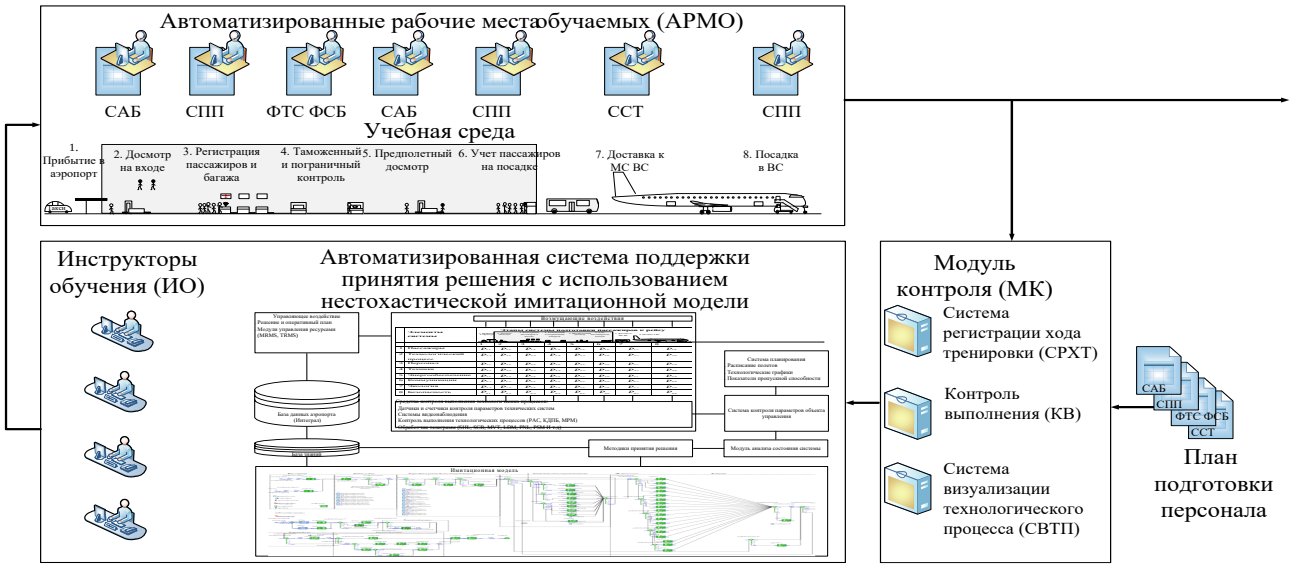


Рисунок 8 - Структура системы управления тренажерной подготовкой диспетчерского состава наземных служб оператора аэропорта в АС ППР НИМ

Такая система позволит сотрудникам быстрее изучить технологическую схему обслуживания пассажиров, правила использования оборудования и систем управления; в короткие сроки освоить стандартные операционные процедуры и действия в сложных ситуациях. Периодический тренинг необходим всему персоналу, в том числе и опытному, поскольку тренажер позволяет отработать функции планирования и распределения ресурсов для выполнения технологических операций с применением специализированных автоматизированных систем управления или без них на основе суточного плана полетов. Это актуально для диспетчеров, задействованных в процессе ОПУР – решения задач по выполнению технологических операций в аэровокзале, их модификаций в зависимости от изменений внешних условий, планирования ресурсов (исполнителей и оборудования) для их выполнения с использованием информационных систем комплекса RMS (назначения задач исполнителям, контроля их выполнения) и протоколирования результатов фактического выполнения задач.

В **заключении** подведены итоги проведенного диссертационного исследования, сформулированы основные научные результаты и возможные направления дальнейшего развития полученных теоретических и прикладных результатов исследования:

1. В результате проведенного анализа современного состояния функционирования аэропортов и производственного эксперимента определено фактическое время обслуживания пассажиров и факторов, влияющих на возникновение временных потерь при обслуживании пассажиров.

2. Разработана и обоснована матричная модель структуризации параметров свойств элементов системы, обеспечивающих обслуживание пассажиров, которая позволяет выявлять критические значения параметров в условиях неопределённости их взаимодействия.

3. Разработана ресурсно-временная модель фактического времени выполнения работ по обслуживанию пассажиров на основе матричной модели. В отличие от классических дискретно-событийных моделей систем массового обслуживания, ресурсно-временная модель учитывает изменения параметров элементов системы.

4. Разработана нестохастическая имитационная модель обслуживания пассажиров в

аэропорту на основе матричной и ресурсно-временной моделей, позволяющая сократить время ожидания и количество пассажиров в очереди на этапах обслуживания по сравнению с результатами производственного эксперимента.

5. Разработан алгоритм планирования ресурсов аэропорта и формирования плана обслуживания пассажиров с использованием автоматизированной системы поддержки принятия решения на базе разработанной нестохастической имитационной модели при взаимодействии с АСУ «Кобра-2», позволяющий повысить качество формирования плана обслуживания пассажиров и сократить время его реализации.

6. Разработана концепция автоматизированного тренажерного комплекса, направленная на создание системы совершенствования формирования навыков управления ресурсами аэропорта при подготовке, повышении квалификации и аттестации авиационного персонала.

Дальнейшие направления развития АС ППР НИМ обслуживания пассажиров в аэропорту могут состоять в расширении возможностей взаимодействия развивающихся модулей АСУ аэропортовой деятельностью и систем имитационного моделирования; разработке и включении в структуру автоматизированных тренажерных комплексов для диспетчерского состава наземных служб аэропортов различного географического расположения, а также интеграции таких комплексов с системами тренажерной подготовки управленческого персонала АвиаТЛС при взаимодействии систем «Аэропорт (Операторы аэропорта) – Авиакомпания – ОрВД».

Полученные результаты внедрены в производственные процессы ООО «Воздушные Ворота Северной Столицы», АО «Аэропорт «Пулково», АО «Авиакомпания Сибирь» для проведения последующих производственных испытаний в АО «РИВЦ-Пулково» и использованы при разработке учебно-методических комплексов в ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А. А. Новикова.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Тецлав, И. А. Автоматизированный тренажерный комплекс подготовки диспетчерского состава наземных служб оператора аэропорта / И. А. Тецлав // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2023. – № 2(39). – С. 78-91.

2. Тецлав, И. А. Концептуальный подход к формированию системы управления пунктуальностью при подготовке и выполнении рейса в авиационной транспортно-логистической системе / Е. Н. Зайцев, Е. В Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров, А. В. Юшков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2022. – № 3(36). – С. 83-97.

3. Тецлав, И. А. Методологический подход к исследованию авиационного транспортно-логистического узла / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Бюллетень результатов научных исследований. – 2018. – № 1. – С. 94-110.

4. Тецлав, И. А. Комплексная безопасность транспортно-логистической системы смешанных перевозок / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Бюллетень результатов научных исследований. – 2017. – № 4. – С. 101-119.

5. Тецлав, И. А. Комплекс взаимодействия систем "Аэропорт – Авиакомпания – УВД" в системе смешанных перевозок / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2016. – № 2(11). – С. 101-117.

6. Тецлав, И. А. Методология формирования системы коммерческой готовности воздушного судна к рейсу / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2016. – № 2(11). – С. 118-132.

7. Тецлав, И. А. Информационная система поддержки принятия решений при обслуживании пассажиров в аэровокзале / И. А. Тецлав, Е. В. Пестерев // Вестник Санкт-

Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2016. – № 3(12). – С. 121-134.

Публикации в других изданиях:

8. Тецлав, И. А. Управление коммерческой подготовкой воздушного судна в аэропорту / А. А. Богданов, Е. Н. Зайцев, И. А. Тецлав // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2012. – № 2(4). – С. 91-100.

9. Тецлав, И. А. Исследование процесса обслуживания пассажиров в аэровокзальном комплексе «Пулково-1» / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Межвузовский тематический сборник научных трудов «Проблемы лётной эксплуатации и безопасность полётов» СПб.: СПбГУ ГА, выпуск VI. – 2012. – С. 217-228.

10. Тецлав, И. А. Концептуальная модель оперативного управления системой наземного обслуживания воздушных судов / Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И.Г. Шайдуров // Межвузовский тематический сборник научных трудов «Проблемы лётной эксплуатации и безопасность полётов» СПб.: СПбГУ ГА, выпуск VII. – 2013. – С. 172-176.

11. Тецлав, И. А. Система управления логистическим обслуживанием пассажиров в аэропорту / Е.Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Сборник научно-практических материалов XII Международной научно-практической конференции «Логистика: современные тенденции развития». – СПб.: СПбГУ инженерно-экономический университет. – 2013. – С. 164-166.

12. Тецлав, И.А. Исследование системы логистического обслуживания вылетающих пассажиров в аэропорту / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И.Г. Шайдуров // Сборник научно-практических материалов XII Международной научно-практической конференции «Логистика: современные тенденции развития». – СПб.: СПбГУ инженерно-экономический университет. – 2013. – С. 167-169.

13. Тецлав, И. А. Оценка влияния факторов на коммерческую подготовку воздушного судна в аэропорту «Пулково» / И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Сборник трудов XI Международной НПК. Киев: Национальный авиационный университет. – 2013. – С. 248-254.

14. Тецлав, И. А. Формирование единого информационного пространства международных транспортных коридоров / И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) «Современные концепции научных исследований» IV Международная научно-практическая конференция. Часть 4. – М.: Москва. – 2014. – С. 89-92.

15. Тецлав, И. А. Методология формирования комплекса взаимодействия систем «Аэропорт – Авиакомпания-УВД» / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И.А. Тецлав, И.Г. Шайдуров // Межвузовский тематический сборник научных трудов «Проблемы лётной эксплуатации и безопасность полётов». СПб.: СПбГУ ГА, выпуск IX. – 2015. – С. 88-105.

16. Тецлав, И. А. Методологические основы исследования системы «Коммерческой готовности рейса» как элемента транспортно-логистического комплекса / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Межвузовский тематический сборник научных трудов «Проблемы лётной эксплуатации и безопасность полётов». СПб.: СПбГУ ГА, выпуск X. – 2016. – С. 135-154.

17. Тецлав, И. А. Эластичность полезности как показатель корреляции при анализе многомерных данных / Я. Г. Клюшин, Е. В. Пестерев, И. А. Тецлав // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 1(120). – С. 54-62.

18. Тецлав, И. А. Разработка системы управления обслуживанием пассажиров в авиационном транспортно-логистическом узле с использованием имитационного моделирования / Е. В. Коникова, И. А. Тецлав // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2017 : Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 14–15 ноября 2017 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2017. – С. 395-399.

19. Тецлав, И. А. Разработка и применение имитационных моделей при управлении потоками пассажиров в аэровокзалах / Е. Н. Зайцев, А. Г. Пашкевич, И. А. Тецлав, И. Г.

Шайдуров // Региональная информатика и информационная безопасность: Сборник трудов межрегиональной конференции и Санкт-Петербургской международной конференции, Санкт-Петербург, 24–26 октября 2018 года. Том Выпуск 6. – СПб: Региональная общественная организация "Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления", 2018. – С. 131-136.

20. Тецлав, И. А. Применение систем имитационного моделирования в управлении потоками пассажиров в аэровокзалах / Е. Н. Зайцев, А. Г. Пашкевич, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Технологии построения когнитивных транспортных систем: Материалы всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30–31 мая 2018 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2018. – С. 42-47.

21. Тецлав, И. А. Цифровизация этапа эксплуатации жизненного цикла воздушных судов / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров // Сборник: Транспорт России: проблемы и перспективы 2019. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. – 2019. – С. 50-56.

22. Тецлав, И. А. Организация наземного обслуживания воздушных судов в аэропортах / Н. А. Кузьминчук, И. А. Тецлав // Студенческий вестник: научный журнал. – № 11(61). – М., Изд. «Интернаука», – 2019. – С. 51- 54.

23. Тецлав, И.А. Исследование обслуживания вылетающих пассажиров в аэропортах / Е. В. Коникова, А. М. Лукошкина, И. А. Тецлав // Сборник: Транспорт России: проблемы и перспективы 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук. – 2020. – С. 129-134.

24. Тецлав, И.А. Улучшение навигации пассажиров внутри аэропорта с применением современных информационных технологий / И. А. Тецлав, В. А. Муксимова // Сборник: Транспорт России: проблемы и перспективы 2020. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук. – 2020. – С. 134-139.

25. Тецлав, И.А. Исследование использования автоматизированных систем в процессах обслуживания пассажиров и багажа / И. А. Тецлав, А. Е. Птицына // Сборник: Транспорт России: проблемы и перспективы 2021. Материалы Юбилейной международной научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук. – 2021. – С. 102-106.

26. Тецлав, И.А. A-CDM как способ совершенствования передачи информации между участниками процесса выполнения полета / С. А. Костин, И. А. Тецлав // Модернизация аэропортов и развитие авиаперевозок: Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 28–29 апреля 2022 года / Под редакцией А.В. Губенко. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, 2022. – С. 127-130.

27. Тецлав, И. А. Методологические основы расчета темпа производства транспортной продукции в авиационной транспортно-логистической системе / И. А. Тецлав // Транспорт Российской Федерации. – 2022. – № 1-2(98-99). – С. 36-40.

Печатается в авторской редакции.
Подписано к печати 08.12.2023. Формат бумаги 60x90 $^{1/16}$.
Тираж 100. Усл.печ.л. 1,25. С 136. Заказ 476.
Тип. Университета ГА. 196210 С.-Петербург, ул. Пилотов, д. 38