ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»
ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А.НОВИКОВА»

На правах рукописи

ТЕЦЛАВ ИЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВИЧ

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

Специальность 2.9.6. Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Зайцев Е.Н.

Санкт-Петербург – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

1. Анализ современного состояния функционирования аэропортов и методов моделирования процессов обслуживания пассажиров 10

1.1. Анализ работы авиационной транспортно-логистической системы 10

1.2. Анализ функционирования аэропортов и оценка регулярности полетов воздушных судов 17

1.3. Производственный эксперимент, анализ проблем и факторов, влияющих на обслуживание пассажиров в аэропорту 36

1.4. Методы моделирования обслуживания пассажиров в аэропорту 42

1.5. Обоснование матричного подхода при моделировании обслуживания пассажиров в аэропорту 47

Выводы по главе 1 48

2. Методология исследования системы управления обслуживанием пассажиров в аэропорту 50

2.1. Формирование системы обслуживания пассажиров в аэропорту с применением матричного подхода 50

2.2. Определение факторов, влияющих на свойства элементов модулей, обеспечивающих обслуживание пассажиров 61

2.3. Ресурсно-временная модель фактического времени выполнения работ по обслуживанию пассажиров 64

2.4. Кибернетическая модель системы управления обслуживанием пассажиров в аэропорту 67

Выводы по главе 2 70

3. Автоматизированная система поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту 71

3.1. Структура автоматизированной системы поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту 71

3.2. Обоснование средств моделирования и разработка нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту 75

3.3. Валидация разработанной нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту 85

Выводы по главе 3 90

4. Экспериментальная оценка поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту 91

4.1. Алгоритм поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту 91

4.2. Оценка системы поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели при обслуживании пассажиров в аэропорту в условиях неопределенности 95

4.3. Концепция автоматизированного тренажерного комплекса для диспетчерского состава наземных служб аэропорта 98

Выводы по главе 4 101

Заключение 103

Список сокращений и условных обозначений 105

Список литературы 107

Приложение 1 127

Приложение 2 128

Приложение 3 129

Приложение 4 130

Приложение 5 131

Приложение 6 132

ВВЕДЕНИЕ

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 [138]: 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 процессами эксплуатации воздушного транспорта. Существенными научными достижениями характеризуются работы А.М. Андронова [14, 15], А.В. Губенко [43, 44], Е.Н. Зайцева [53-57], Г.А. Крыжановского [52, 68], В.А. Колясникова, В.И. Комашинского [88], Е.А. Куклева [70-72], И.Г. Малыгина [83], В.П. Маслакова [144], А.Р. Панкратовой [43], Е.Г. Пинаева, А.А. Соколова, Н.Н. Сухих, А.Н. Хижняка, В.Е. Чепиги [55], А.Р. Яшкина [152] 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 [39], Е.В. Кониковой [66], И.Г. Шайдурова [147], Ю.М. Чинючина [46, 76], 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 [92, 93]. Исследования Т.А. Малышевой [84-86] 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 технологических процессов обслуживания пассажиров в аэропорту, в которых не учитываются состояние меняющихся 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 – разработать методы и средства поддержки принятия решения с использованием матричного подхода и имитационного моделирования, позволяющего минимизировать время обслуживания пассажиров в аэропорту в условиях неопределенности.

Задачи исследования:

1. Произвести 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. Разработать и обосновать ресурсно-временную и имитационную модели автоматизации процесса поддержки принятия решения при управлении обслуживанием пассажиров в аэропорту, базирующиеся на матричном подходе.

3. Разработать автоматизированную систему и алгоритм поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту в условиях неопределенности.

4. Разработать концепцию 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 слабо структурированных 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 г.г., «Международный инновационный форум пассажирского транспорта SmartTRANSPORT» в Санкт-Петербурге, 2017, 2019, 2021 г.г.), 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 г.г., «Актуальные проблемы защиты и безопасности» в Санкт-Петербурге, 2016, 2021 г.г.);
- 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».

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.9.6. «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники» поскольку результаты работы включают исследование закономерностей и факторов, влияющих на функционирование воздушного транспорта. Диссертация соответствует следующим пунктам раздела «Направления исследований» паспорта специальности:

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 специальности 2.9.6. «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники», 11 статей в сборниках материалов конференций.

Структура и объем 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.

1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АЭРОПОРТОВ И МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ

1.1. Анализ работы авиационной транспортно-логистической системы

Во всем мире с начала 2020 года по настоящее время объемы пассажирских авиаперевозок снизились в среднем на 60–75 % [124] с учетом введенных ограничений, вызванных распространением новой (COVID-19), а объемы грузовых — увеличились в силу необходимости доставки медицинских препаратов, средств защиты и оборудования в кратчайшие сроки. Постоянно изменяющиеся условия работы транспортных систем и ввод новых ограничений диктуют необходимость поиска новых методов и моделей формализации работы транспортных систем, что позволило бы повысить их эффективность.

Производство транспортной продукции является основной целью работы транспортной системы. Эта цель может быть представлена через объем выполненных работ по перемещению пассажиров, почты или груза на расстояние:

$$A = F \cdot L,\ F = m \cdot a,\ a = const,$$

$$q_{пасс}^{П} = n \cdot L\ [пасс \cdot км] \tag{1.1}$$

Предел показателя работы в единицу времени для выбранной системы определяется следующим образом:

$$p = n \cdot dV \left[\frac{пасс \cdot км}{ч} \right] \tag{1.2}$$

Учитывая тождественность выражения (1.2) импульса, или темпа, транспортного процесса, можно определить эффективность транспортной системы [124]:

$$p_i = n_i V_i \tag{1.3}$$

Каждый вид транспорта имеет свой темп создания транспортной продукции. Фактический темп производства транспортной продукции в транспортно-логистической системе имеет вид:

$$p_i^{факт} = n_i^{факт} \cdot V_i^{факт} \tag{1.4}$$

где $n_i^{факт}$ – количество пассажиров прибывших на рейс *i*-го транспортного средства, определяемая коммерческой деятельностью, *пасс*;

$V_i^{факт}$ – фактическая скорость воздушного судна при выполнении рейсов, $\frac{км}{ч}$.

Если основными параметрами для транспортной системы (рис. 1.1) (1.3), определяющими оценку эффективности работы, являются коммерческая загрузка *i*-го транспортного средства и его скорость, тогда пределом темпа производства транспортной продукции в транспортной системе является:

$$p_i^{пл} = n_i^{пл} \cdot V_i^{пл} \tag{1.5}$$

где $n_i^{пл}$ – пассажировместимость *i*-го транспортного средства, определяемая техническими характеристиками, *пасс*;

$V_i^{пл}$ – плановая скорость воздушного судна при выполнении рейсов, $\frac{км}{ч}$.

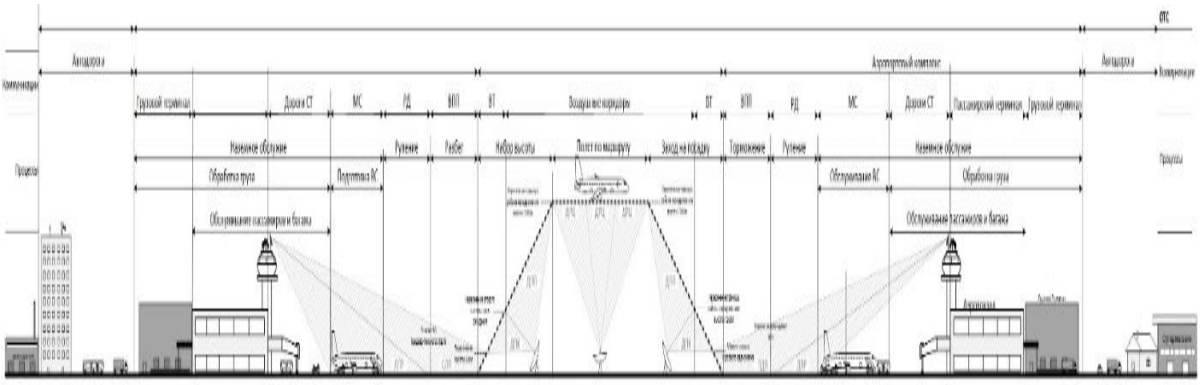


Рисунок 1.1 – Транспортно-логистическая система смешанных перевозок

Зависимость коммерческой загрузки и скорости от времени работы является производной темпа транспортной продукции *i*-го транспортного средства. Геометрическое представление производной транспортной продукции от времени представляет собой график функции $p_i(t)$ в виде линии на плоскости, где абсцисс ось – это время t, а ось ординат – количество транспортной продукции *i*-го транспортного средства.

При равномерном движении *i*-го транспортного средства $V_i^{пл} = const$ с максимальной коммерческой загрузкой $n_i^{пл} = const$ (рис. 1.2,а) и криволинейной при $V_i^{факт} = var$ и $n_i^{факт} = var$ (рис. 1.2,б).

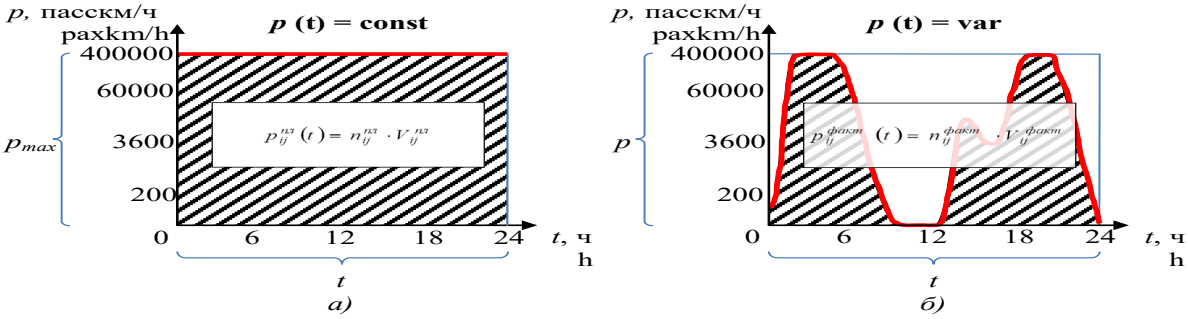


Рисунок 1.2 – График прямолинейной (а) и криволинейной функций (б) транспортной продукции от времени работы транспортной системы

Математическая постановка транспортной задачи определена целевой функцией управления движением транспортных средств [110], с учетом темпа транспортного процесса и различных норм рабочего времени транспортных систем:

$$\lim_{\substack{k_{НП} \to 1 \\ k_{ТИ} \to 1}} F_Д = k_{НП} k_{ТИ} = \frac{p_i^{факт}}{p_i^{пл}} \cdot k_{ТИ} = \frac{n_i^{факт} V_i^{факт}}{n_i^{пл} V_i^{пл}} \cdot \left(k_{РВ} - \frac{t_{орг}}{t_k} \right) \qquad (1.6)$$

где $F_Д$ – целевой функцией управления движением транспортных средств;

$k_{НП}$ – коэффициент непрерывности транспортного процесса;

$k_{ТИ}$ – коэффициент технического использования времени;

k_{PB} – коэффициент использования рабочего времени;

t_k – календарный период функционирования транспортной системы;

$t_{орг}$ – время организационных простоев.

Целевая функция управления движением транспортных средств определяет требования к построению ресурсно-временной модели производства транспортной продукции, а также необходимость формирования системы подготовки всех ресурсов к процессу транспортировки пассажиров, почты и груза за минимальное время без снижения уровня безопасности и экологичности транспортного процесса.

Задача минимизации времени простоя воздушных судов в АвиаТЛС (рис. 1.3), включающей всех участников авиационной перевозки «АвиаТЛУ-1 – Система ОрВД – АвиаТЛУ-2», должна решаться по принципу партнерства, ориентированного на потребителя перевозки с целью минимизации стоимости билета на авиационном транспорте и повышения мобильности населения страны.

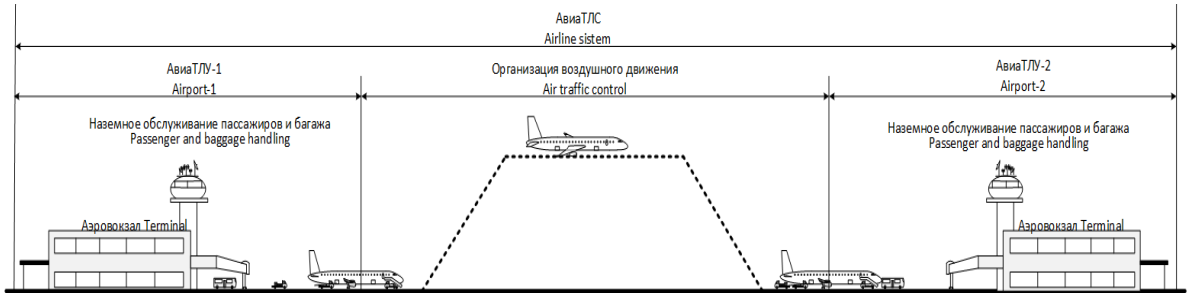


Рисунок 1.3 – Авиационная транспортно-логистическая система (АвиаТЛС)

Так, при транспортировке пассажиров с использованием авиационного плеча примем фактическую коммерческую загрузку для ВС, равную 150 пассажирам, а плановую (предельную) коммерческую загрузку — 200 пассажирам. При этом фактическая (рейсовая) скорость движения ВС в АвиаТЛС равна 750 [км/ч], а плановая (техническая) скорость ВС – 950 [км/ч].

Для АвиаТЛС получим темп производства транспортной продукции, который характеризуется фактическими (1.4) и плановыми (1.5) значениями

коммерческой загрузки транспортных средств, а также фактическими и плановыми значениями скорости транспортных средств:

$$p_{авиа}^{факт} = 150\ [пасс] \cdot 750\ \left[\frac{км}{ч}\right] = 112500\ \left[\frac{пасс \cdot км}{ч}\right]$$

$$p_{авиа}^{пл} = 200\ [пасс] \cdot 950\ \left[\frac{км}{ч}\right] = 190000\ \left[\frac{пасс \cdot км}{ч}\right].$$

На основании (6) получим коэффициент непрерывности транспортного процесса для воздушного транспорта:

$$k_{НП}^{авиа} = \frac{p_{авиа}^{факт}}{p_{авиа}^{пл}} = \frac{112500\left[\frac{пасс \cdot км}{ч}\right]}{190000\left[\frac{пасс \cdot км}{ч}\right]} = 0{,}5921 \cdot$$

В оценке эффективности работы АвиаТЛС необходимо учитывать также коэффициент технического использования времени:

$$k_{ТИ} = k_{РВ} - \frac{t_{орг}}{t_k} \tag{1.7}$$

где $k_{ТИ}$ – коэффициент технического использования времени;

$k_{РВ}$ – коэффициент использования рабочего времени;

t_k – календарный период функционирования транспортной системы;

$t_{орг}$ – время организационных простоев.

Техническое использования времени $t_{ТИ}$ вычисляется следующим образом [147]:

$$t_{ТИ} = t_{РВ} - t_{орг} \Rightarrow \frac{t_{ТИ}}{t_k} = \frac{t_{РВ} - t_{орг}}{t_k} \Rightarrow \frac{t_{ТИ}}{t_k} = k_{ТИ}; \frac{t_{РВ}}{t_k} = k_{РВ}; \frac{t_{орг}}{t_k} = k_{орг}. \tag{1.8}$$

В соответствии с порядком, утвержденным Приказом Минздравсоцразвития России от 13.08.2009 № 588н, норма рабочего времени исчисляется в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю по расчетному графику пятидневной рабочей недели с двумя

выходными днями в субботу и воскресенье, исходя из продолжительности ежедневной работы (смены). Так, при 40-часовой рабочей неделе норма рабочего времени равна 8 часам, при продолжительности рабочей недели 36 часов она составит 7,2 часа, при 24-часовой рабочей неделе – 4,8 часа [124].

Исходя из данных производственного календаря на 2021 год, можно взять основные характеристики:

$$t_k = 365\ [дней],\ t_{РВ} = 247\ [дней],\ t_{Вых} = 118\ [дней],\ t_{орг} = 65\ [дней],$$

$$t_{РВ} = 8\left[\frac{часов}{день}\right].$$

Далее можно рассчитать рабочее время за 2021 год в часах:

$$t_{РВ}^{40} = 5\left[\frac{дней}{неделю}\right];\ t_{РВ}^{36} = 4{,}5\left[\frac{дня}{неделю}\right];\ t_{РВ}^{24} = 3\left[\frac{дня}{неделю}\right].$$

На основании (8) можно рассчитать:

$$k_{РВ}^{40} = \frac{247\ [дней]}{365\ [дней]} = 0{,}6767\ ;\ k_{РВ}^{36} = \frac{222\ [дня]}{365\ [дней]} = 0{,}6082\ ;\ k_{РВ}^{24} = \frac{148\ [дней]}{365\ [дней]} = 0{,}4055\ .$$

Помимо норм рабочего времени, на коэффициент технического использования времени могут повлиять и организационные проблемы, а они в свою очередь — на время простоя *i*-х транспортных средств на *j*-м участке смешанной перевозки и, как следствие, – на целевую функцию управления движением транспортных средств.

Примем $t_{орг} = 65[дней]$, тогда:

$$k_{орг} = \frac{65\ [дней]}{365\ [дней]} = 0{,}1781\ .$$

Исходя из (6), можно рассчитать целевую функцию управления движением транспортных средств с учетом различных норм рабочего времени:

$$F_{Давиа}^{40} = k_{НП} k_{ТИ} = 0{,}5921 \cdot (0{,}6767 - 0{,}1781) = 0{,}5921 \cdot 0{,}4986 = 0{,}2952;$$

$$F_{Давиа}^{36} = k_{НП} k_{ТИ} = 0{,}5921 \cdot (0{,}6082 - 0{,}1781) = 0{,}5921 \cdot 0{,}4301 = 0{,}2546;$$

$$F_{Давиа}^{24} = k_{НП} k_{ТИ} = 0{,}5921 \cdot (0{,}4055 - 0{,}1781) = 0{,}5921 \cdot 0{,}2274 = 0{,}1346.$$

Относительно предельного темпа производства транспортной продукции в АвиаТЛС определяются требования к пропускной способности АвиаТЛУ (рис. 1.4), а также провозной возможности воздушного судна, вследствие чего встает задача оптимального планирования ресурсов транспортного производства во времени.

Для решения этой ресурсно-временной задачи необходимо решить систему уравнений:

$$F^{АвиаТЛС} = \begin{cases} F_{Д}^{АвиаТЛС} = \dfrac{F_{Д}^{факт}}{F_{Д}^{план}} \to \max \\ F_{РЕС}^{АвиаТЛС} = N_{рес}^{АвиаТЛС} \cdot t_{орг} \to \min \\ F_{Э}^{АвиаТЛС} = \dfrac{F_{Э}^{факт}}{F_{Э}^{план}} \to \max \\ F_{Б}^{АвиаТЛС} = \dfrac{F_{Б}^{факт}}{F_{Б}^{план}} \to \max \end{cases} \quad (1.9)$$

где: $F^{АвиаТЛС}$ – целевая функция оценки эффективности работы АвиаТЛС;

$F_{РЕС}^{АвиаТЛС}$ – целевая функция оценки эффективности работы ресурсов во времени АвиаТЛС;

$N_{рес}^{АвиаТЛС}$ – количество ресурсов, используемых при производстве транспортной продукции в АвиаТЛС;

$t_{орг}$ – время организационных простоев;

$F_{Э}^{АвиаТЛС}$ – целевая функция оценки экологической безопасности АвиаТЛС;

$F_{Б}^{АвиаТЛС}$ – целевая функция оценки безопасности АвиаТЛС.

Структурная декомпозиция авиационной транспортно-логистической системы (см. рис. 1.4) дает возможность рассмотреть системы, участвующие в

процессах перевозок, их подсистемы и их элементы, а также влияние внутренних и внешних факторов с учетом уровня иерархии [139]; определить и рассмотреть этапы взаимодействия между всеми участниками транспортного процесса [123, 147].

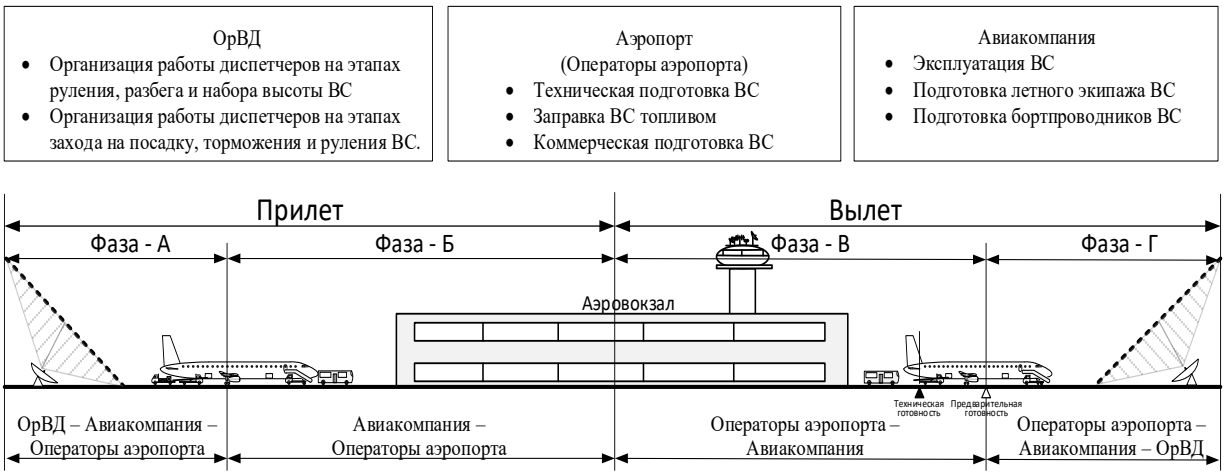


Рисунок 1.4 – Структура АвиаТЛУ [130]

Тогда авиационную транспортно-логистическую систему (АвиаТЛС) и ее авиационные транспортно-логистические узлы (АвиаТЛУ) далее будем рассматривать как транспортный комплекс, состоящий из взаимосвязанных систем «Аэропорт (Операторы аэропорта) – Авиакомпания – ОрВД» (рис. 1.4), которые должны работать во взаимодействии с целью повышения темпа производства транспортной продукции [124, 137, 147].

1.2. Анализ функционирования аэропортов и оценка регулярности полетов воздушных судов

Переход экономики России к рыночным отношениям повлек за собой приватизацию имущественного комплекса и разделение объединенных авиаотрядов, ведущих аэропортовую и авиатранспортную деятельность. Несмотря на это, в РФ сохраняются различные формы собственности аэропортов: государственная на федеральном уровне; государственная на региональном/местном уровнях; прочая государственная собственность (государственные компании/предприятия); приватизированные

аэропорты/группы аэропортов: с преобладанием государственного капитала, с преобладанием частного капитала, с отсутствием государственного капитала [17, 35, 65]. Формы управления аэропортами могут быть частными или государственными: компании, владеющие и/или управляющие одним или несколькими аэропортами; государственные компании, владеющие объектами инфраструктуры (ВПП, терминалы и прочее) в аэропортах. При этом для оперативного управления аэропортами привлекаются специализированные компании-операторы; специализированные компании (холдинги), оказывающие комплекс услуг, связанный с развитием и управлением аэропортами; а также организации, связанные с авиакомпаниями [35, 48].

Аэропортовая деятельность включает в себя обеспечение взлетно-посадочных операций (ВПО) ВС, обслуживание авиакомпаний (экипажей), обслуживание пассажиров (прием, отправка) и других клиентов; обработку (прием, отправка) багажа, почты и груза; наземное обслуживание ВС [1, 7, 8, 10]; эксплуатацию аэродрома, аэровокзала и других зданий и сооружений; обеспечение хранения и заправки ВС топливом; обеспечение тепло- и электроэнергией, транспортное обслуживание и связь [17, 34]. Воздушным кодексом РФ дано определение «наземное обслуживание воздушного судна» [128], а Приказом Министерства транспорта РФ от 20.03.2023 г. № 89 об утверждении Федеральных авиационных правил «Правила наземного обслуживания гражданских воздушных судов» пунктом 6 утверждены, кроме работ по обслуживанию ВС, работы по обслуживанию пассажиров, посадки пассажиров в воздушное судно или высадки пассажиров из воздушного судна, доставки пассажиров и экипажа к воздушному судну и от воздушного судна в терминал. Для выполнения работ по наземному обслуживанию авиакомпании заключают с операторами аэропортов договоры в свободной форме в соответствии со ст. № 434 Гражданского кодекса РФ или Стандартным соглашением о наземном обслуживании ИАТА (AHM 810, Standard Ground Handling Agreement, SGHA) [7, 8, 10 - 12].

Структуры служб операторов аэропортов, осуществляющих

деятельность по обеспечению обслуживания пассажиров и обработки багажа конкретного аэропорта, имеют большое количество различий и особенностей. Основную работу по обслуживанию пассажиров и обработки багажа в аэропорту ведет служба организации перевозок (СОП) дирекции по наземному обслуживанию оператора аэропорта. Структура СОП определяется объемом и перечнем работ по обслуживанию пассажиров (рис. 1.5) [7, 8, 10 - 12].

Досмотр на входах в здания аэровокзальных комплексов, предполетный досмотр членов экипажей ВС, обслуживающего персонала, авиапассажиров, багажа, в том числе вещей, находящихся при пассажирах, почты, грузов, бортовых запасов ВС и бортпитания в целях предотвращения проноса в контролируемую зону аэропорта запрещенных к провозу на гражданских ВС оружия, боеприпасов и других веществ (предметов), которые могут быть использованы для совершения акта незаконного вмешательства, осуществляется подразделениями службы досмотра дирекции (рис. 1.6) по авиационной безопасности операторов аэропортов, имеющих сертификат установленного образца [4, 5].

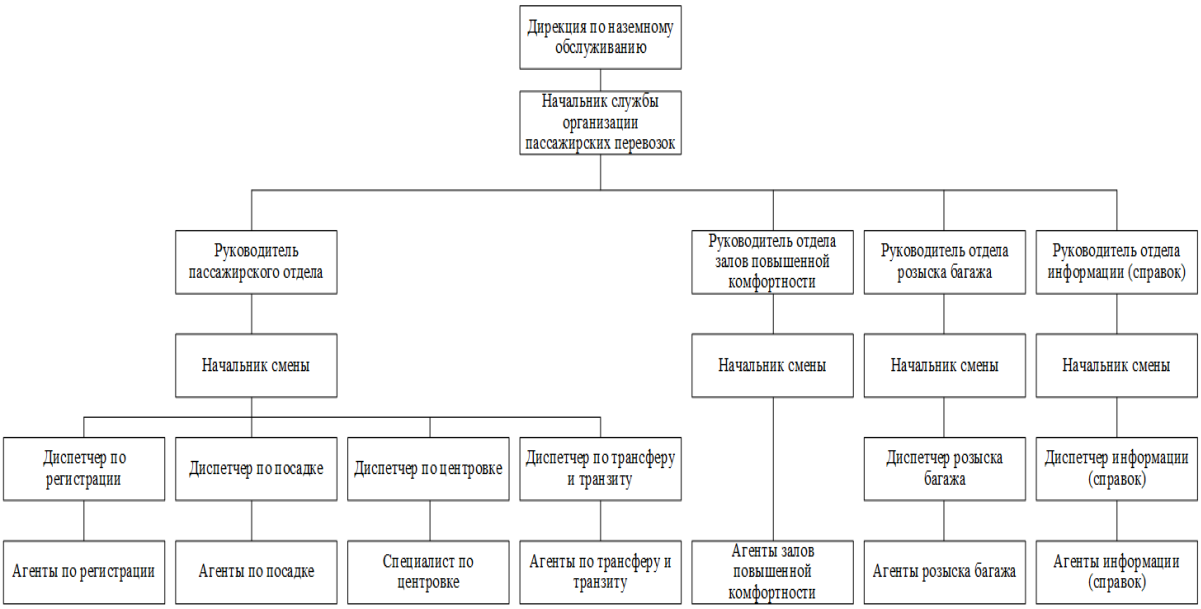


Рисунок 1.5 – Структурная схема службы организации перевозок аэропорта

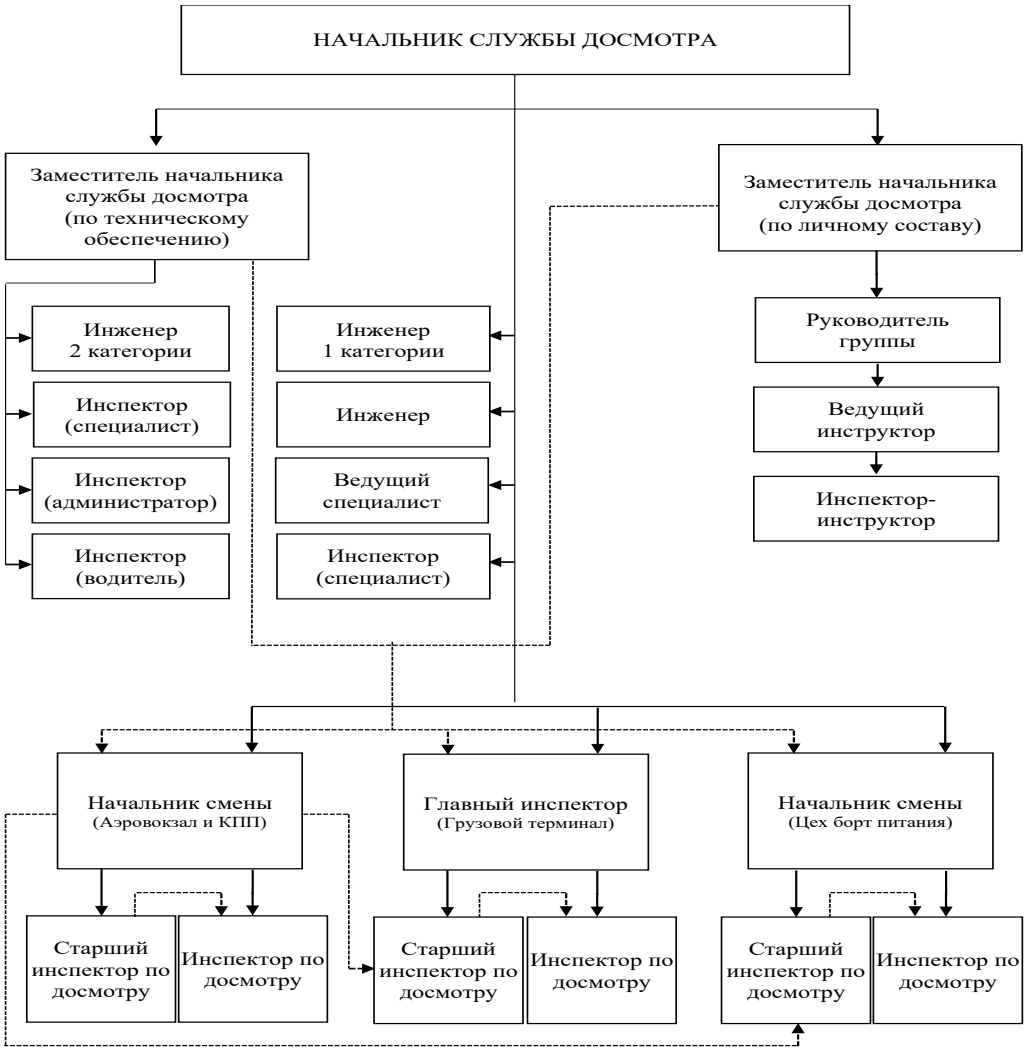


Рисунок 1.6 – Структура дирекции по авиационной безопасности

Отличительной чертой функциональных обязанностей начальников смен и диспетчеров структурных подразделений операторов аэропорта является организация работы сотрудников, их расстановка по рабочим местам, контроль исполнения ими функциональных обязанностей, осуществление ротации на рабочих местах.

В зависимости от вида воздушных перевозок обслуживание пассажиров производится в международных, внутренних, местных аэровокзалах, где предусматриваются зоны (помещения) для досмотра и обслуживания вылетающих, прилетевших, транзитных и трансферных пассажиров, а также обработки их багажа. Пропускная способность малых аэровокзалов составляет 35–450 пасс./ч; средних 451–1000 пасс./ч, больших 1001–2500 пасс./ч; крупных – свыше 2500 пасс./ч.

Оборудование и средства механизации и автоматизации [76], используемые для обслуживания пассажиров и обработки багажа, можно разделить на две технологические группы: внутривокзальные устройства и программное обеспечение для управления отправками пассажиров и багажа, весы, телекоммуникационное оборудование и связь, внутривокзальные механизированные и автоматизированные линии обработки багажа, оборудование контроля авиационной безопасности и перронные (перронные средства транспортировки, посадки и высадки пассажиров, средства загрузки и выгрузки багажа, средства для транспортировки и загрузки бортового питания в ВС) [61].

Авиационная отрасль прошла долгий путь от ручного управления аэропортом до автоматизированных систем. Индустрия 4.0, одна из важнейших концепций развития мировой промышленности и мировой экономики, характеризуется быстрой цифровой трансформацией производственных процессов различных отраслей [25, 36]. В контексте аэропортовой деятельности Индустрию 4.0 можно определить как внедрение современных информационно-коммуникационных технологий в стандартные операционные процессы обслуживания пассажиров и обработки багажа, приема и отправки воздушных судов, а также обработки грузов. Статус «Аэропорта 4.0» предполагает его оснащенность в шести технологических кластерах:

- «Управление и мониторинг пассажиров в терминале»;
- «Автоматизация процессов»;
- «Совместное принятие решений»;
- «Умный терминал»;
- «Обратная связь с пассажиром»;
- «Прогнозные инструменты».

Создание «умного аэропорта» направлено на минимизацию прямого физического контакта пассажиров и других пользователей аэропортовых услуг с персоналом аэропорта; ускорение бизнес-процессов, оптимизацию затрат,

повышение безопасности полетов, снижение риска заражения в условиях пандемии и обеспечение высокого уровня качества обслуживания, отвечающего требованиям пассажиров и других пользователей аэропорта.

Современные цифровые решения (или платформы) для аэропортов состоят из баз данных и независимых программных модулей, которые операторы могут использовать для управления процессами. Основными отечественными поставщиками платформ являются АО «РИВЦ-Пулково», АО «Сирена-Трэвел», ИТК «Феникс», ООО «Мираж», ООО «ТАИС», и зарубежные SITA, Rockwell Collins, Gentrack, Amadeus, T-Systems, Lufthansa Systems, RESA и др. Автоматизированный комплекс управления аэропортом включает в себя взаимосвязанные системы:

- операционная база данных аэропорта (Airport Operational Database – AODB);
- сезонного расписания полетов;
- слот координации;
- обработки формализованных сообщений;
- контроля технологических графиков обслуживания (ТГО);
- управления договорами и работы с клиентами (CRM);
- управления качеством выполняемых работ;
- управления суточным расписанием полетов;
- управления статическими ресурсами;
- управления кадровой работой (HR);
- управления динамическими ресурсами (RMS);
- расчета выполненных услуг;
- статистки и отчетности (BI);
- электронного документооборота.

В табл. 1.1 отображены автоматизированные системы управления деятельностью в аэропорту, которыми оснащены аэропорты Российской Федерации.

Таблица 1.1 – Автоматизированные системы крупных аэропортов РФ

Решение	Код ИАТА аэропорта, год внедрения			
	VKO	DME	SVO	LED
AODB	INFORM 2011	Adb safgate 2004	Synchron 2000	Amadeus 2021
Слот координация	Aviator 2019	IPG 2019	Synchron 2000	IPG 2020
RMS	INFORM 2011	INFORM 2013	INFORM 2003	M-RMS 2021
ERP	SAP ERP 2011	1C:ERP 2014	SAP ERP 2006	SAP ERP 2020
HR	SAP HCM 2012	1C:HR, Lotus 2014	SAP HCM, Lotus 2016	BOSS HR 2020
BI	Oracle BI 2015	Microstrategy 2014	SAP 2010	Power BI, SAP 2020
CRM	-	Bitrix 2020	MS Dynamics 2016	Creatio Terrasoft 2020
ECM	Documentum 2010	Lotus 2010	Lotus 2016	EMC 2020

Часть систем, представленных в табл. 1.1, — иностранного производства, некоторые российского, а есть разработанные силами ИТ-подразделений операторов аэропортов. Несмотря на то, что процесс цифровизации запущен, в аэропортах по-прежнему используются ручные операции, которые необходимо автоматизировать с целью обеспечения непрерывного пассажиропотока, актуальной информации и управления воздушным движением, что необходимо для безотказного функционирования аэропорта.

Технологические разработки создают для аэропортов как возможности, так и проблемы. В ближайшее время ИТ-среда аэропортов будет сосредоточена на облачных решениях, бизнес-аналитике и кибербезопасности [38, 157].

Постепенный выход российских регионов из карантина способствовал восстановлению внутренних авиаперевозок. По данным Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиации), уже в июне 2020 года количество пассажиров, перевезенных на внутренних рейсах, составило 40 % от уровня прошлого года. Для сравнения: в апреле и мае 2019 года этот показатель был на уровне 13,0 % и 15,5 % соответственно [23].

По данным Росавиации, в июле 2020 года российские перевозчики обслужили 6,72 млн пасс., что составляет почти половину по сравнению с объемами за аналогичный период 2019 года (рис. 1.7). Эту информацию подтверждает и компания «Сирена-Трэвел» – крупнейший российский поставщик информационных технологий для предприятий авиационной отрасли [106].

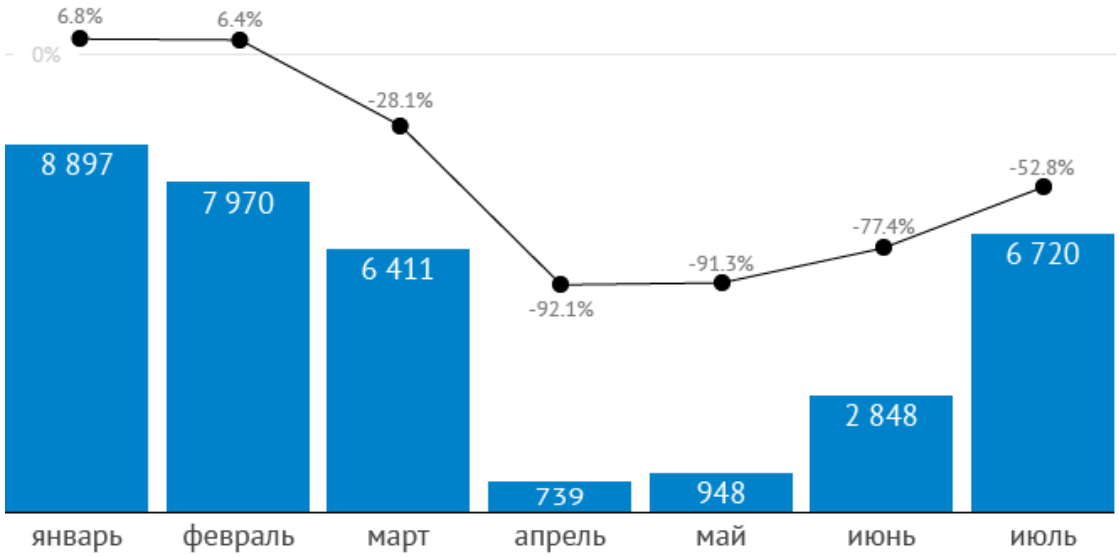


Рисунок 1.7 – Динамика изменения количества пассажиров, перевезенных российскими авиакомпаниями в 2020 году, и ее процентное отношение к аналогичным периодам 2019 года [106]

Статистический анализ пассажиропотока в авиационной транспортно-логистической системе (АвиаТЛС) страны за последние одиннадцать лет, с 2011 по 2021 годы, показывает положительную тенденцию на рынке внутренних авиаперевозок, где среднее годовое увеличение составляет 8–10 %, а также устойчивую тенденцию роста до 2020 года на международных направлениях. С учетом мер государственной поддержки, проведенных в 2021 году, рынок внутренних авиаперевозок полностью восстановился и демонстрирует рост (рис. 1.8).

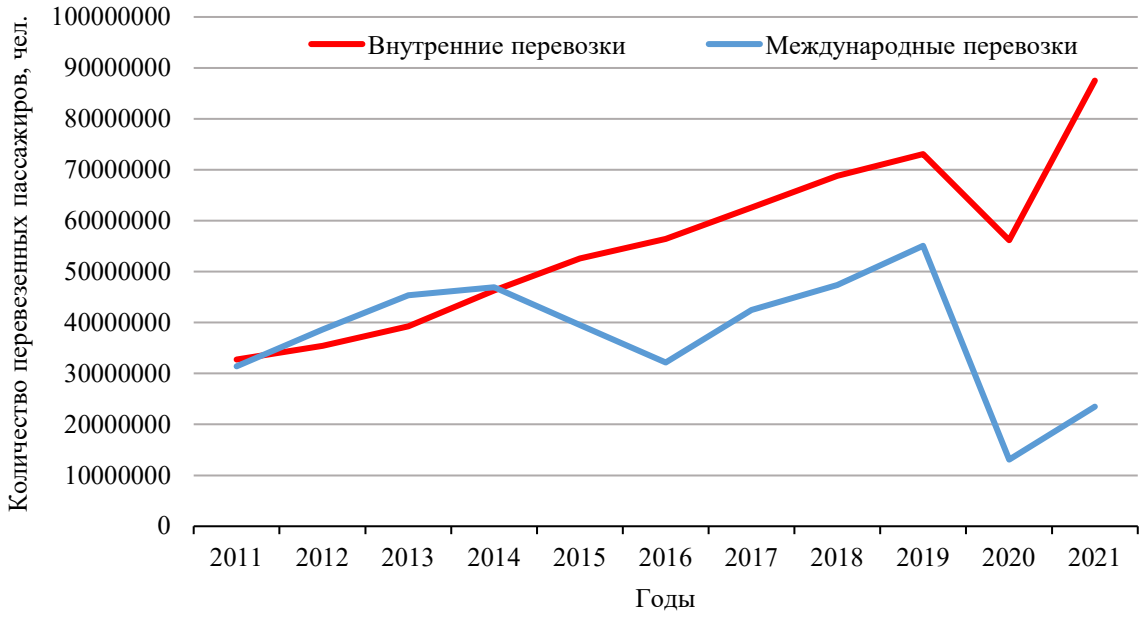


Рисунок 1.8 – Динамика пассажиропотока на воздушном транспорте в Российской Федерации за период с 2011 по 2021 годы

Статистический анализ пассажирообмена в аэропортах Российской Федерации за последние восемь лет, с 2014 по 2021 годы (источник – статистические данные Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация): [сайт]. URL: https://favt.gov.ru/dejatelnost-vozdushnye-perevozki-stat-pokazately), выявил положительную тенденцию к росту в среднем на 12,5 % ежегодно, но в период с марта 2020 года по февраль 2022 года произошел резкий спад пассажирообмена из-за влияния новой коронавирусной инфекции (COVID-19). При этом в 2020 году больше всего пострадали крупнейшие аэропорты страны с пассажирообменом более 10 млн человек в год. Так, для аэропорта Шереметьево это снижение составило 60,92 %, для аэропорта Домодедово – 42,4 %, аэропорта Внуково – 47,92 %, аэропорта Пулково – 44,39 %. В 2021 году происходило постепенное увеличение пассажирообмена по всем аэропортам Российской Федерации, но особый рост показал аэропорт Сочи, которое составило 40,9 % по отношению к предыдущим годам (рис. 1.9) (источник – статистические данные Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация): [сайт]. URL: https://favt.gov.ru/dejatelnost-ajeroporty-i-ajerodromy-stat-dannye).

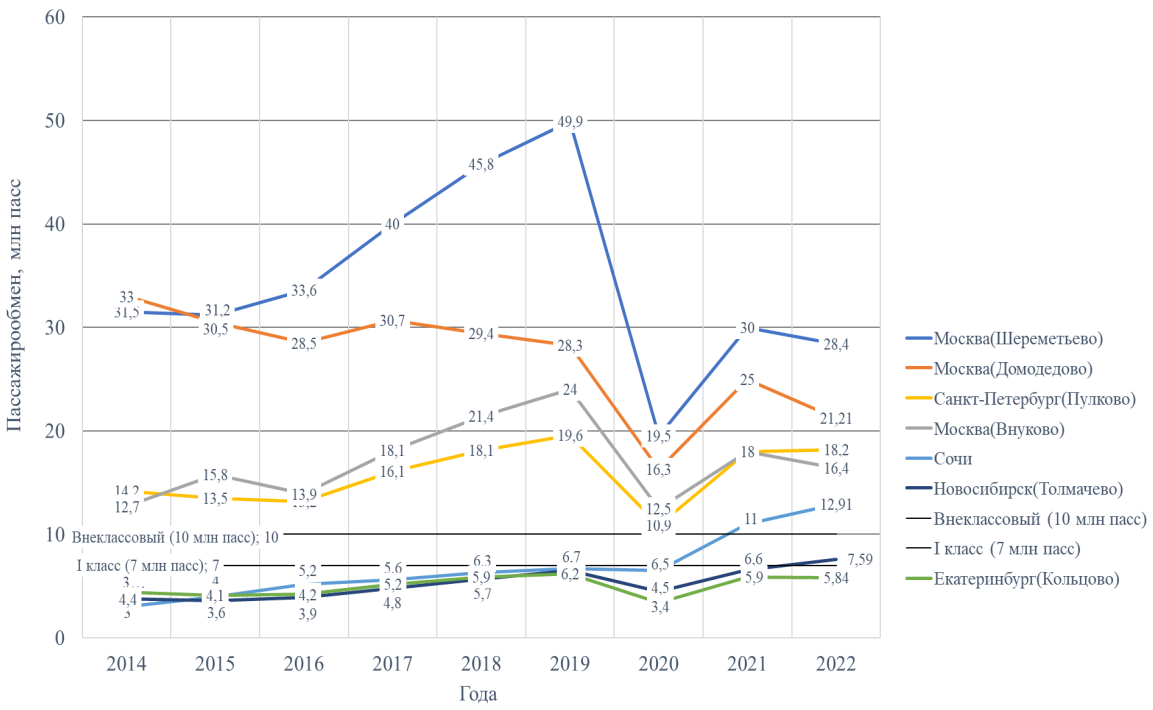


Рисунок 1.9 – Динамика пассажирообмена в аэропортах Российской Федерации за период с 2014 по 2022 годы

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) снизила прогноз ежегодного роста пассажирооборота на период с 2018 по 2050 год с 4,2 % (до кризиса) до 3,6 %. По данным ИКАО, за 2020 год показатели отрасли снизились на 60 % по сравнению с докризисными; за 2021 — на 49 %; внутренние рынки восстановились на 68 %, тогда как международные перевозки остаются на уровне 28 % от докризисного. На 2022 год прогнозировалось продолжение восстановления рынка: по оптимистичному сценарию — до 86 % от уровня 2019 года (восстановление на 95 % внутренних и на 73% международных объемов). Пессимистичный сценарий предполагает восстановление в целом на 75 % (86 % внутренние и 58 % — международные рынки). Очередной позитивный сдвиг произошел в начале августа 2021 года, когда российские власти разрешили международное авиасообщение с тремя странами: Турцией, Великобританией и Танзанией. С 14 августа возобновилось авиасообщение со Швейцарией. На первом этапе международные рейсы были доступны только из Москвы, Санкт-Петербурга и Ростова-на-Дону. С 20 августа 2021 года к городам вылета добавились Казань,

Калининград и Новосибирск. При этом турецкое направление особенно важно, так как оно многие годы является крупнейшим международным направлением для российских авиакомпаний. Прямые перелеты на популярные у россиян турецкие курорты: Анталья, Бодрум и Даламан – открылись с 10 августа 2021 года. В 2022 году авиакомпании «Аэрофлот», «Победа» S7, «Уральские авиалинии», Royal Flight, «Северный ветер», Azur Air, «Россия» и IFly начали регулярные и чартерные полеты в Турцию [106].

Дальнейшее открытие международных направлений, которые традиционно прибыльнее внутренних перевозок, будет иметь ключевое значение для российских авиакомпаний. Им предстоит пережить непростой низкий зимний сезон, в то время как финансовая поддержка пострадавших от кризиса перевозчиков со стороны правительства ограничена в объемах.

По оценке министра транспорта РФ В. Г. Савельева, внутренние авиаперевозки должны были восстановиться к концу 2021 года, что и произошло, а международные – к лету следующего года при условии снятия карантинных ограничений. При этом большинству авиакомпаний в Российской Федерации тяжело конкурировать с ПАО «Аэрофлот – российские авиалинии», которая в общей сложности производит 60,45 % от общего объема пассажирооборота (в пассажиро-километрах).

Положительная динамика за последние 11 лет (рис. 1.10) показывает, что развитие пассажирских авиаперевозок является приоритетным направлением в «Транспортной стратегии развития транспортного комплекса страны до 2030 года» [6, 9]. В целях повышения транспортной доступности для населения в различных регионах страны в рамках транспортной стратегии развивается аэропортовая инфраструктура, технические средства труда, организационно-управленческая деятельность, информационные системы и система подготовки кадров для авиационной отрасли [147].

Регулярность полетов воздушных судов является критически важным критерием оценки работы авиакомпаний и операторов аэропортов, поскольку она влияет на общую эффективность воздушного транспорта. Под

регулярностью понимается способность авиакомпании выполнять рейсы по расписанию.

Рейтинговые агентства ежегодно подводят итоги регулярности полетов. Например, OAG (OAG – глобальный поставщик данных о путешествиях со штаб-квартирой в Великобритании) присваивает рейтинги только тем авиакомпаниям, у которых может отследить фактическое время прибытия как минимум 80 % регулярных рейсов. Из российских авиакомпаний рейтинг присваивался только ПАО «Аэрофлот – российские авиалинии» и АО «Авиакомпания «Сибирь». Остальные авиакомпании могут попасть в ежемесячные отчеты: для них указываются число рейсов и процент регулярности, но рейтинг не присваивается, и в годовые списки лучших авиакомпаний они попасть не могут. Отмечено также, что OAG отслеживает и количество отмененных рейсов. При составлении годового рейтинга эти рейсы приравниваются к задержанным (источник – статистические данные OAG: [сайт]. URL: https://www.oag.com/flight-data-sets).

В 2022 году 10 аэропортов Японии были признаны лучшими в мире. «Тройка» лидеров оказалась практически ровной: Осака (91,5 %), Мацуяма (91,4 %) и Миядзаки (91,3 %). Ни один североамериканский или европейский аэропорт не попал в список 20 лучших.

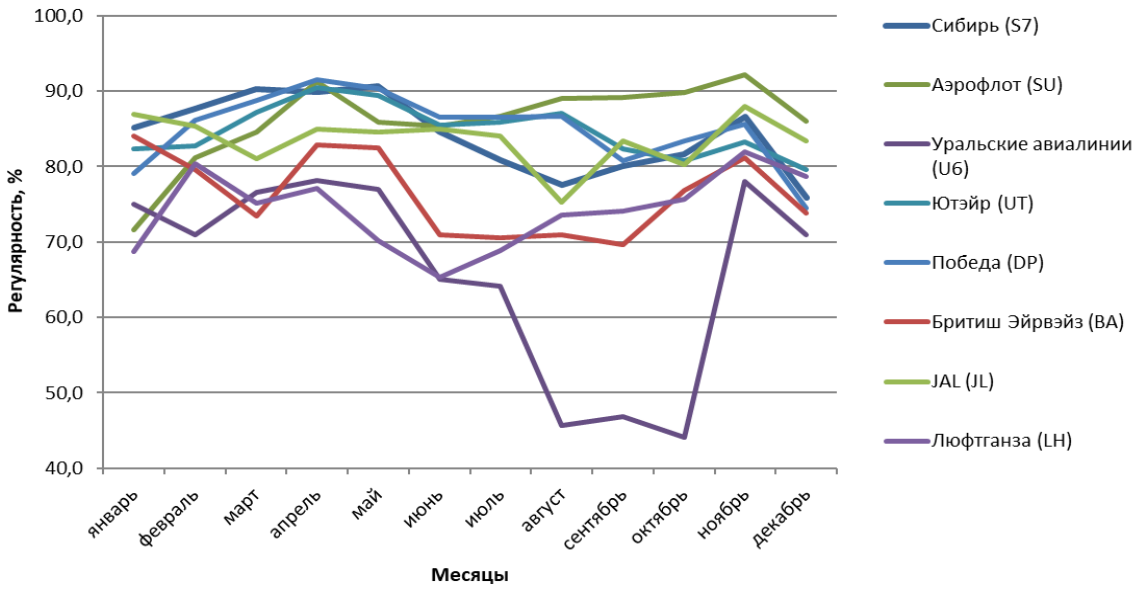


Рисунок 1.10 – Регулярность авиакомпаний согласно отчету OAG в 2019 году

Если посмотреть на крупные хабы, которые измеряются количеством выполняемых рейсов, то Tokyo Haneda заняла первое место в рейтинге на уровне 88,1 %, за ним следуют Atlanta (80,1 %) и Seattle-Tacoma (80 %). Аэропорты США заняли 14 из этих топ-20 рейтинга. В первую «пятерку» США входят Хьюстон (79,7 %), Шарлотт (79,6 %) и Лос-Анджелес (78,6 %). Аэропортами на последних четырех позициях топ-20 всех стали европейские: Стамбул (66,9 %), Амстердам (65,1 %), Париж Шарль де Голль (63,5 %) и Лондон Хитроу (61,5 %). Из всех рассматриваемых аэропортов Северной Америки в «тройку» лидеров вошли Солт-Лейк-Сити (83,6 %), Бойсе (82,9 %) и Фресно (81,6 %).

На регулярность полетов воздушных судов влияет множество факторов, в том числе отмена или задержка рейсов; частота расписания рейсов может определять влияние таких сбоев на несколько рейсов [3]. В соответствии с Приказом Минтранса России от 28.06.2007 № 82 Об утверждении Федеральных авиационных правил “Общие правила воздушных перевозок пассажиров, багажа, грузов и требования к обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей” авиакомпании несут различные обязательства в зависимости от причины задержки или отмены рейса [10].

На регулярность полетов, включая отмену рейсов, задержки, критические изменения температуры окружающей среды и иные природные явления, технические неисправности авиационной техники и т.д., влияет множество факторов. Для более глубокого их исследования необходимо дополнительно изучить эту область, поскольку некоторые факторы могут лежать гораздо глубже поверхностного понимания [40].

Проведем анализ регулярности отправлений воздушных судов из аэропорта Пулково по годам и месяцам, а также по кодам задержек. На рис. 1.11 представлены гистограмма выполненных и задержанных рейсов и график изменения регулярности выполненных рейсов в 2009–2022 гг.

Гистограмма показывает, что с ростом количества рейсов происходит снижение уровня регулярности полетов, и, наоборот, в годы, когда количество

рейсов снижалось, регулярность повышалась. Положительным является тот факт, что в 2018 году вместе с достижением рекордного для аэропорта Санкт-Петербург (Пулково) [78] количества рейсов уровень регулярности полетов превышает предыдущий рекордный 2014 год (88 % в 2018 году против 87 % в 2014-м).

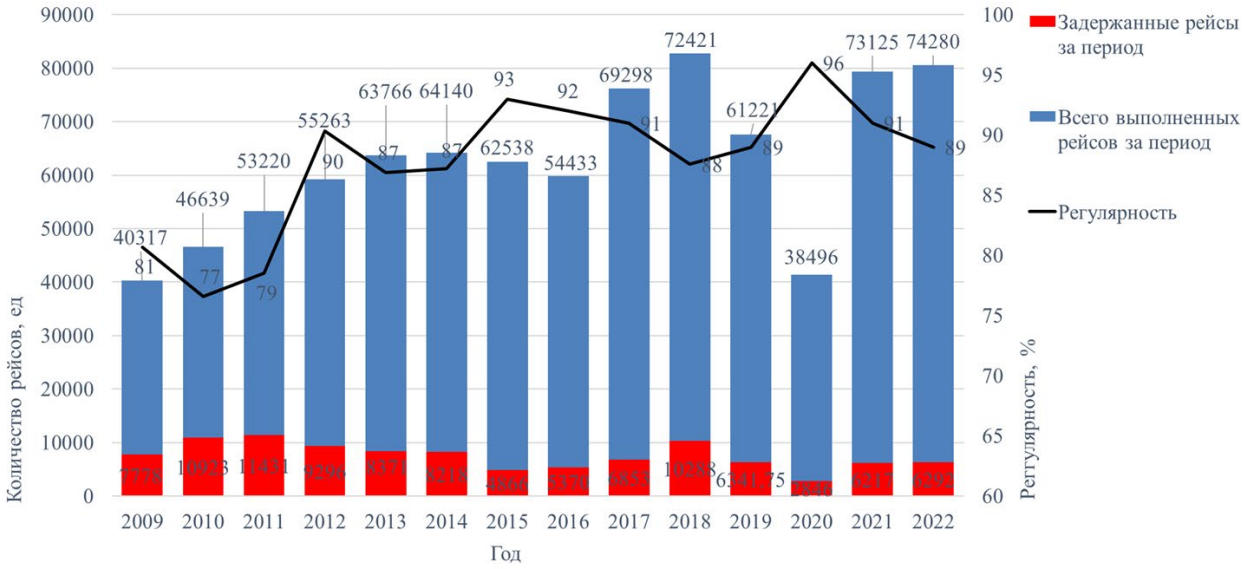


Рисунок 1.11 – Регулярность выполненных рейсов за 2009–2022 гг.

Рост числа задержанных рейсов и уменьшение регулярности выполненных полетов в 2016–2018 годы можно объяснить с помощью более детальных графиков по кодам задержек. На рис. 1.12 представлено количество выполненных и задержанных рейсов.

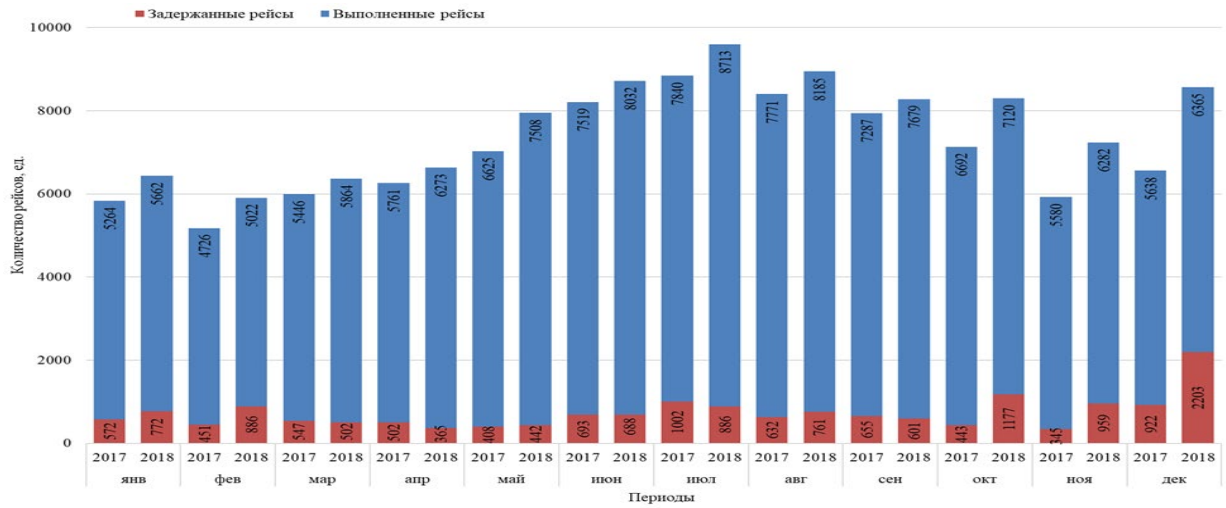


Рисунок 1.12 – Количество задержек за 2017–2018 гг.

График показывает, что наименьшие показатели уровня регулярности полетов зафиксированы на протяжении практически всего периода осенне-зимней навигации. Задержки обусловлены прежде всего необходимостью проведения противообледенительной обработки ВС, а также неблагоприятными метеоусловиями.

В период весенне-летней навигации незначительное снижение уровня регулярности полетов наблюдается с июня по август. На эти же месяцы приходится наибольшая интенсивность полетов.

Причины задержек рейсов по вине операторов аэропорта, которые выполняют обслуживание пассажиров и обработку багажа, представлены (рис. 1.13–1.15).

Для стандартизации отчетности по причинам нарушений регулярности полетов операторами аэропортов используется классификация нарушений регулярности полетов с применением специальных кодов задержек рейсов по тем или иным причинам. Такая классификация устанавливается Руководством по обеспечению и учету регулярности ВС оператора аэропорта и соответствует нормам IATA. Данные коды используются для передачи сообщений о перемещении из аэропорта вылета в аэропорт назначения, а также в администрацию авиакомпаний [155].

В целях систематизации задержек по категориям коды подразделяются на группы. Для анализа будут использованы некоторые из кодов:

- Задержки, вызванные обслуживанием пассажиров и обработкой багажа:

11 – позднее окончание регистрации, добор пассажиров. Источник – авиакомпания, аэропорт, внешний;

12 – поздняя регистрация, скопление в зоне регистрации. Источник – авиакомпания, аэропорт;

13 – ошибка в регистрации, пассажиры и багаж. Источник – авиакомпания, аэропорт;

15 – посадка/высадка пассажиров, расхождения, отсутствие зарегистрированных пассажиров, отказ пассажира от полета без багажа.

Источник – авиакомпания, аэропорт, внешний;

18 – загрузка/выгрузка багажа. Источник – авиакомпания, аэропорт, внешний.

- Задержки, вызванные обслуживанием ВС на перроне [66]:

31 – документация на ВС (поздняя/неточная), вес и центровка, генеральная декларация, список пассажиров и т.п., самолетная документация, техническая, сан. журнал, а также отсутствие или неточность информации о коммерческой загрузке и заправке топлива. Источник – авиакомпания, аэропорт;

33 – отсутствие или поломка погрузочного оборудования, например, погрузчика контейнеров, отсутствие обслуживающего персонала. Источник – оператор аэропорта;

34 – сервисное оборудование, отсутствие или поломка трапов, буксировочное водило, самолетные стремянки, тормозные (упорные) колодки. Отсутствие или недостаточное количество персонала. Источник – авиакомпания, аэропорт, внешний.

- Задержки, вызванные отказом системы электронной обработки данных/автоматического оборудования:

55 – система управления отправкой. Источник – авиакомпания, аэропорт.

- Задержки, вызванные аэропортом и государственными структурами:

85 – обязательные меры безопасности, снятие багажа пассажиров, отказавшихся от полета. Источник – авиакомпания, аэропорт, внешний;

86 – иммиграционные, таможенные и здравоохранительные структуры. Источник – Федеральная миграционная служба, Таможня, Пограничная служба, внешний;

87 – средства аэропорта, стоянки, загруженность перрона, ВПП, трапы (телетрапы), освещение, ограничения по выходам на посадку и т.п. Источник – аэропорт;

89 – ограничения в аэропорту вылета при наличии либо отсутствии ограничений УВД, включая ограничения УВД на запуск двигателей и

буксировку, закрытие аэропорта и/или ВПП из-за препятствий или погодных условий, из-за забастовки, нехватки персонала, политических волнений, требований по уменьшению шумов, введения комендантского часа в ночное время, специальных рейсов. Источник – внешний.

- Задержки, вызванные предпринимаемыми мерами:

92 – Ожидание транзитных пассажиров и багажа. Источник – авиакомпания.

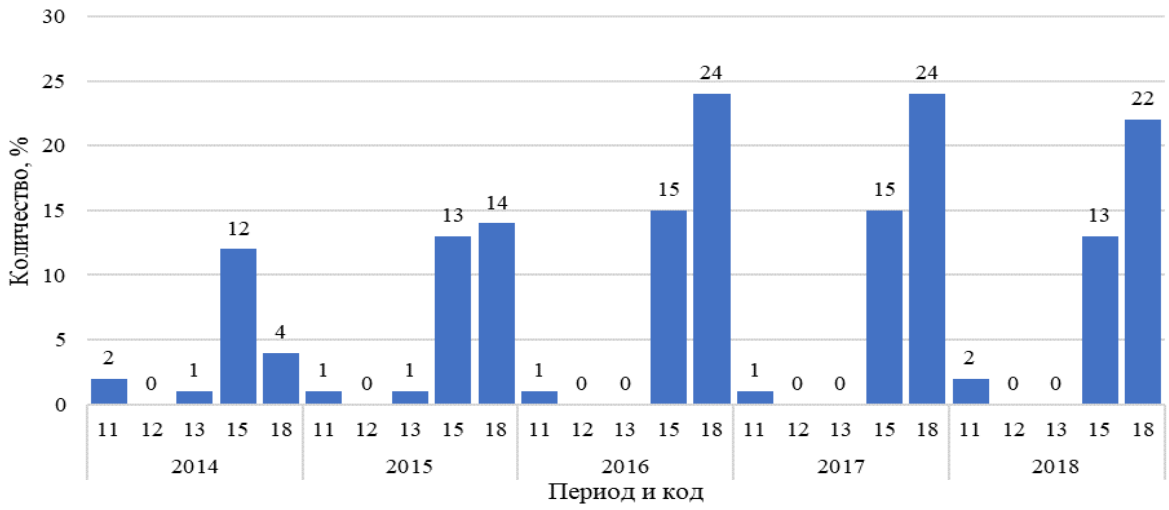


Рисунок 1.13 – Задержки, связанные с обслуживанием пассажиров и обработкой багажа, за 2014–2018 гг.

Очевидно, что по данной категории наибольшее количество составляют задержки 15-го и 18-го кодов (рис. 1.14). Это свидетельствует о систематических нарушениях в процессе посадки пассажиров, а также о необходимости выгрузки с борта ВС багажа пассажиров, не явившихся на посадку.

На рис. 1.15 представлены статистические данные по задержкам, связанным с обслуживанием ВС на перроне. Диаграмма показывает, что количество задержек по коду 31 с 2015 по 2017 гг. увеличивалось. Это свидетельствует о совершении некоторых ошибок при заполнении документации о коммерческой загрузке, центровке и т. д. 33-й код остается на нулевом уровне с 2015 года. После полного переноса рейсов в новый терминал

резко снизилось количество задержек по 34-му коду, что связано с наличием сервисного оборудования (трапы, упорные колодки, буксировочное водило, самолетные стремянки и др.).

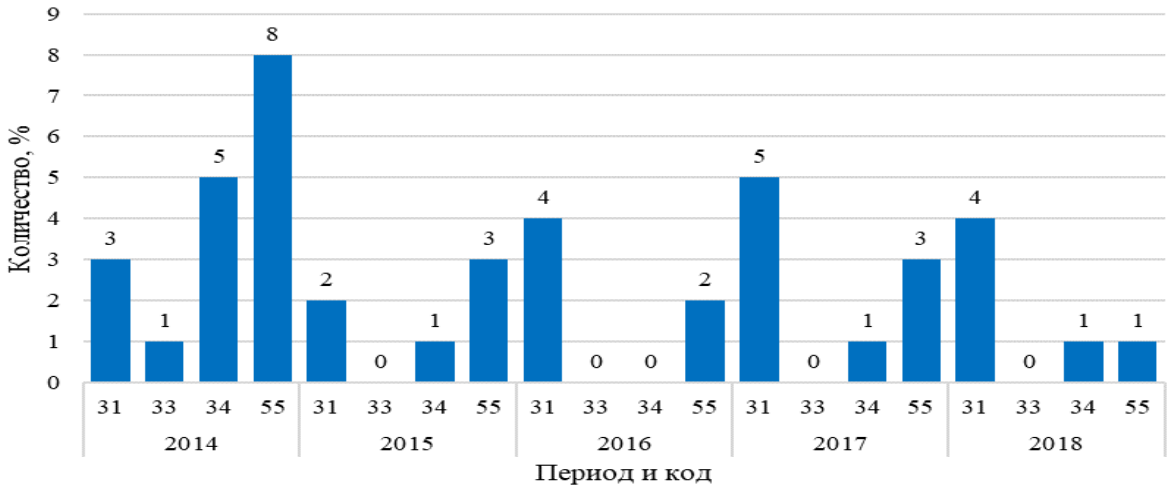


Рисунок 1.14 – Задержки, вызванные обслуживанием ВС на перроне, и задержки из-за отказа систем обработки данных за 2014–2018 гг.

Задержки вследствие отказа системы электронной обработки данных (55-й код) в 2014 году составили максимальное значение, равное 8 % от всего количества задержек, что говорит о наличии в 2014 году недостатков в работе самих систем и несвоевременном восстановлении их работоспособности после отказа.

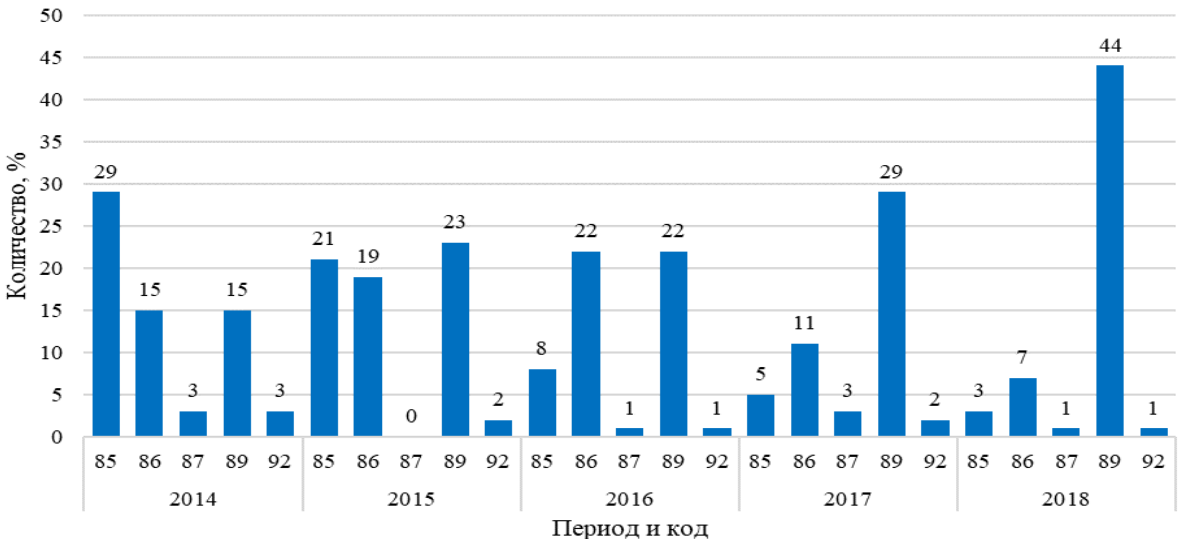


Рисунок 1.15 – Задержки по вине аэропорта и государственных структур в 2014–2018 гг.

В следующей категории задержек (рис. 1.15) с 2014 года снизилось количество задержанных рейсов по причинам, связанным с обязательными мерами авиационной безопасности (дополнительная проверка воздушного судна по запросу экипажа, снятие багажа пассажиров, отказавшихся от полета, и другие) и работой государственных структур. Следует отметить устойчивый рост количества задержанных рейсов по причинам, обусловленным ограничениями в управлении воздушным движением, в том числе по причинам недостаточности пропускной способности аэродромной инфраструктуры (занятость маршрутов руления, необходимость соблюдения интервалов между взлетно-посадочными операциями и т.д.). Такие задержки возникают, в том числе, при недостаточной пропускной способности элементов аэродрома.

Совершенствование управления производством в аэропорту связано с пунктуальностью выполнения работ по обслуживанию ВС на всех этапах подготовки и основано на принципах логистики «точно в срок» и «от двери до двери». Это позволяет синхронизировать работу отдельных подсистем в едином технологическом процессе. Оценку пунктуальности следует начинать со своевременного выполнения технологических процессов подготовки авиарейса в аэропорту вылета [56]. Существующие методики оценивают пунктуальность с момента начала руления ВС, то есть окончания всех работ по наземному обслуживанию до начала движения ВС. Эти работы могут стать причиной отклонения от планового времени и сформировать задержку рейса [122]. Фактический результат работы системы при воздействии различных факторов представлен на рис. 1.16.

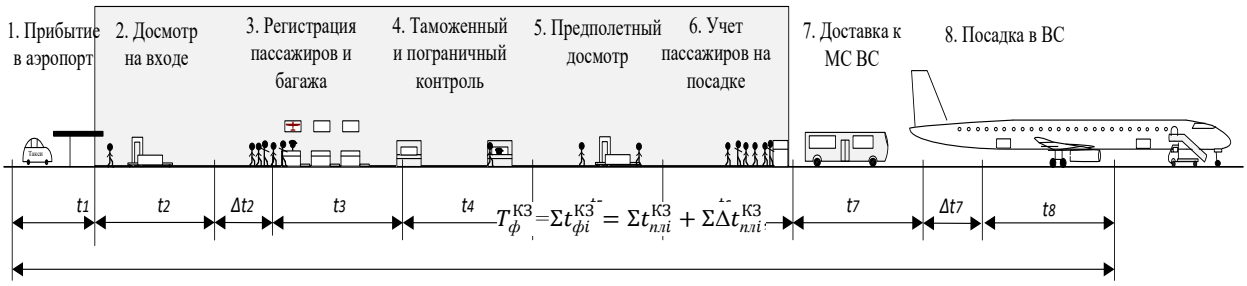


Рисунок 1.16 – Фактический результат работы системы подготовки пассажиров к рейсу

Фактическое время i-го этапа вычисляется:

$$t_{\text{ф}i}^{\text{КЗ}} = t_{\text{пл}i}^{\text{КЗ}} + \Delta t_{\text{пл}i}^{\text{КЗ}} \quad (1.10)$$

где $\Delta t_{\text{пл}i}$ – величина изменения планового времени i-го этапа.

Суммарное отклонение фактического времени от планового на каждом этапе равно:

$$\Delta T_{\text{пл}i}^{\text{КЗ}} = \Sigma \Delta t_{\text{пл}i}^{\text{КЗ}} \quad (1.11)$$

Суммарное фактическое время выполнения работ на каждом i-м этапе равно [51]:

$$T_{\text{ф}}^{\text{КЗ}} = \Sigma t_{\text{ф}i}^{\text{КЗ}} = \Sigma t_{\text{пл}i}^{\text{КЗ}} + \Sigma \Delta t_{\text{пл}i}^{\text{КЗ}} \quad (1.12)$$

Повышение пунктуальности выполнения технологических процессов подготовки авиарейса позволит точнее управлять графиком обслуживания и движения, увеличить налет воздушных судов, повысить эффективность работы авиакомпаний и операторов аэропортов, снизить цены на авиабилеты, что положительно скажется на конкурентоспособности воздушного транспорта [51].

1.3. Производственный эксперимент, анализ проблем и факторов, влияющих на обслуживание пассажиров в аэропорту

Проведенный производственный эксперимент по выявлению проблем и факторов, влияющих на обслуживание пассажиров, позволил определить наиболее нагруженные этапы и получить экспериментальные данные [109] для моделирования технологических процессов в аэропорту.

В процессе проведения эксперимента описана характеристика производства; проведен анализ количества обслуженных пассажиров в аэропорту и организации обслуживания пассажиров; определено фактическое время, которое при сравнивалось с нормативным значением времени

выполнения технологических операций согласно методики расчета технической возможности аэропортов [2]; дана характеристика персонала и технических средств, обслуживающих пассажиров; описаны факторы, влияющие на выполнение обслуживания пассажиров. Для производственного эксперимента были разработаны «Методические указания по проведению производственного эксперимента» [140, 73, 89].

В результате проведенного эксперимента в аэропорту Санкт-Петербург (Пулково) выявлены наиболее нагруженный период весенне-летней навигации и пиковый месяц (рис. 1.17).

Пиковые дни (понедельник, среда и воскресенье) пикового месяца определяются по графику (рис. 1.18), в котором месяц разбит по дням недели.

Пиковый час в пиковый день определяется по графику, в котором сутки разбиваются по часам (рис. 1.19).

Проведенные исследования показали [115-118, 129], что пассажиры приезжают в аэропорт (Санкт-Петербург) Пулково в среднем за один час до вылета ВС по расписанию. Наибольшей интенсивности поток пассажиров на рейсы достигает за 40–60 минут до вылета, когда прибывают около 40 % всех пассажиров.

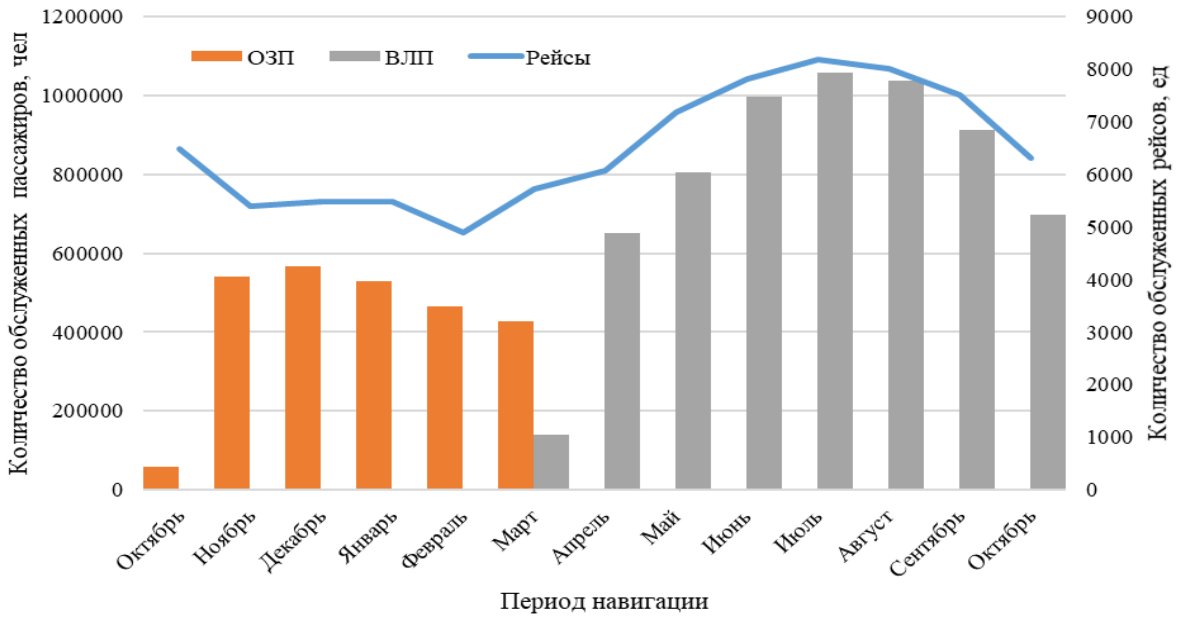


Рисунок1.17 – Определение наиболее загруженного периода навигации

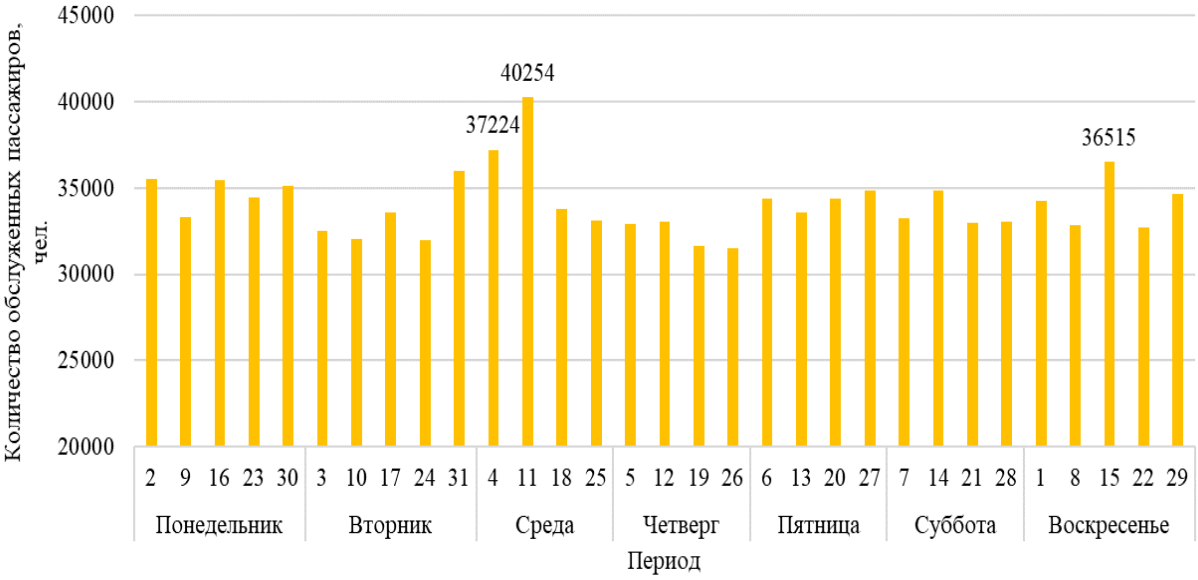


Рисунок 1.18 – Определение пикового дня с разбиением по дням недели

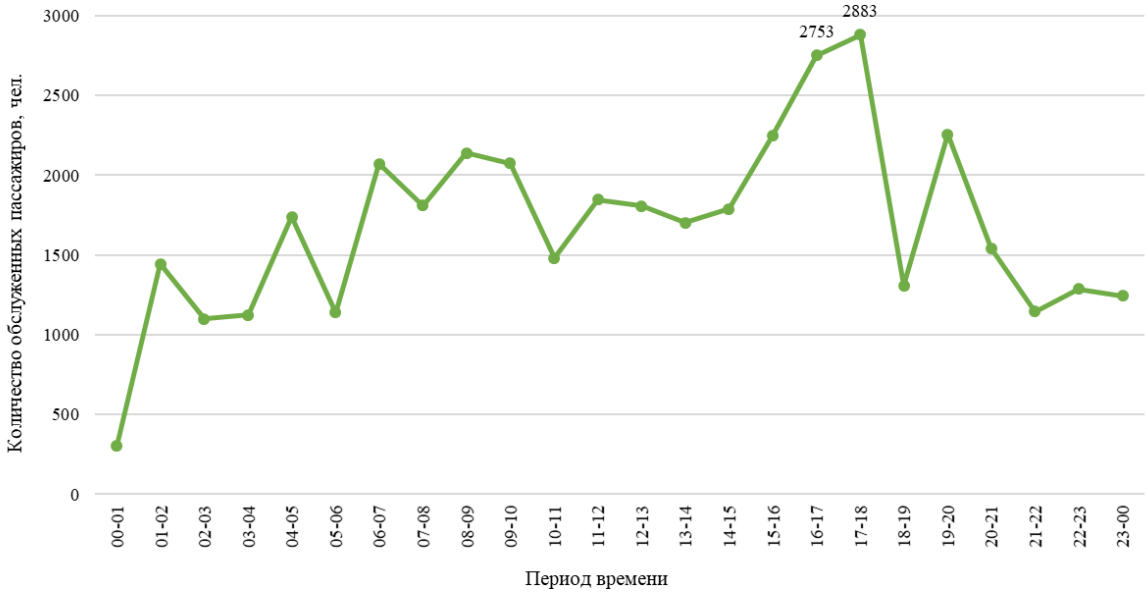


Рисунок 1.19 – Количество обслуженных пассажиров в пиковый день

Данные наблюдений над интенсивностью входящего потока пассажиров, проведенных в аэропорту Пулково (Санкт-Петербург), позволяют считать, что при определении интенсивности входящего потока пассажиров для аэропортов магистральных линий, обладающих хорошими транспортными связями с городом, могут быть приняты в качестве расчетных следующие значения вероятностей времени прибытия пассажиров в аэропорт (рис. 1.20).

Замеры времени ожидания обслуживания и обслуживания пассажиров на этапах предполетной подготовки в различных аэропортах России показали, что нарушения нормативных (плановых) значений примерно одинаковы для

всех аэропортов. В аэропорту Санкт-Петербург (Пулково) наибольшие отклонения времени выполнения технологических операций от нормативных значений на входном досмотре и регистрации.

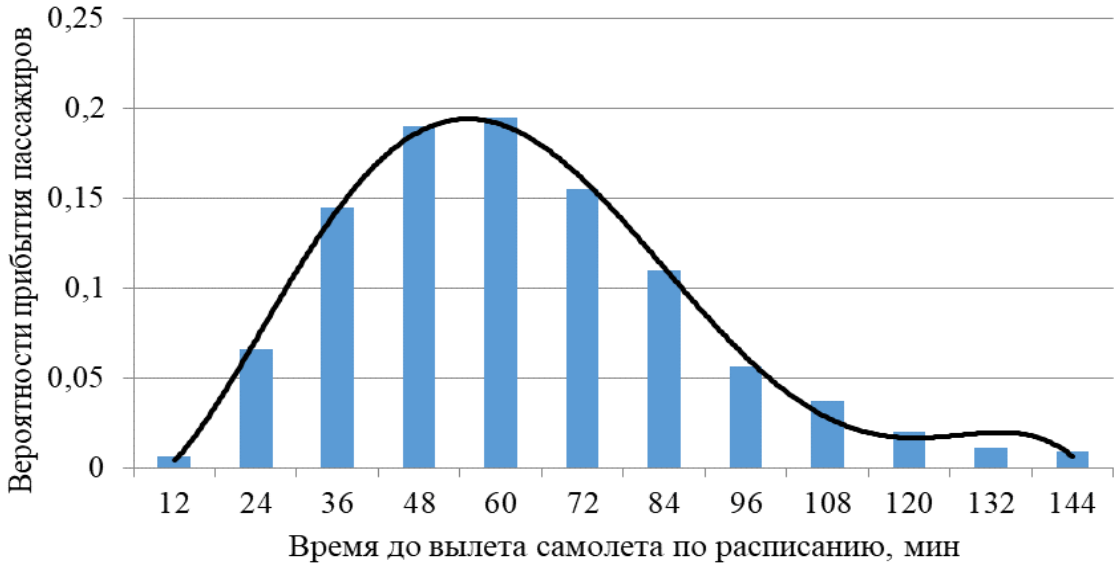


Рисунок 1.20 – Распределение времени прибытия пассажиров в аэропорт

На входном досмотре время обслуживания составляет от 2 (сотрудники аэропорта или опытные пассажиры без личных вещей) до 40 секунд и реже от 41 до 180 секунд (при необходимости повторного прохождения или при наличии подозрений на запрещенные к перевозке предметов) (рис. 1.21). Среднее время ожидания в зоне входного досмотра (рис. 1.22) составляет 6 минут.

При регистрации пассажиров и оформлении багажа время составляет от 30 до 90 секунд, реже от 91 до 800 секунд (при необходимости уточнений в отношении визового режима, правил перевозок авиакомпаний и оплаты за сверхнормативный багаж) (рис. 1.23). Очереди на регистрацию встречаются во всех аэропортах, обычно перед началом и по завершении регистрации, в зависимости от прибывающих пассажирских потоков. Время ожидания в зоне регистрации может доходить до 25–55 минут в пиковые периоды. При этом образующаяся очередь может формироваться рядом с пунктами обслуживания и по диагонали зала, что блокирует пути движения для других пассажиров (рис. 1.24).

Рисунок 1.21 – Время обслуживания пассажиров на входном досмотре

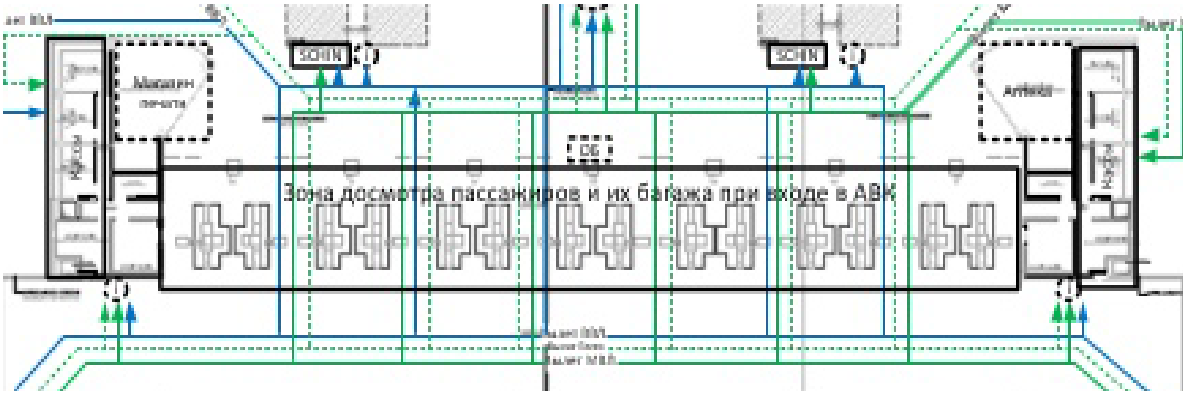


Рисунок 1.22 – Схема зоны ожидания и досмотра при входе в центральный пассажирский терминал аэропорта Санкт-Петербург (Пулково)

Рисунок 1.23 – Время обслуживания пассажиров на регистрации

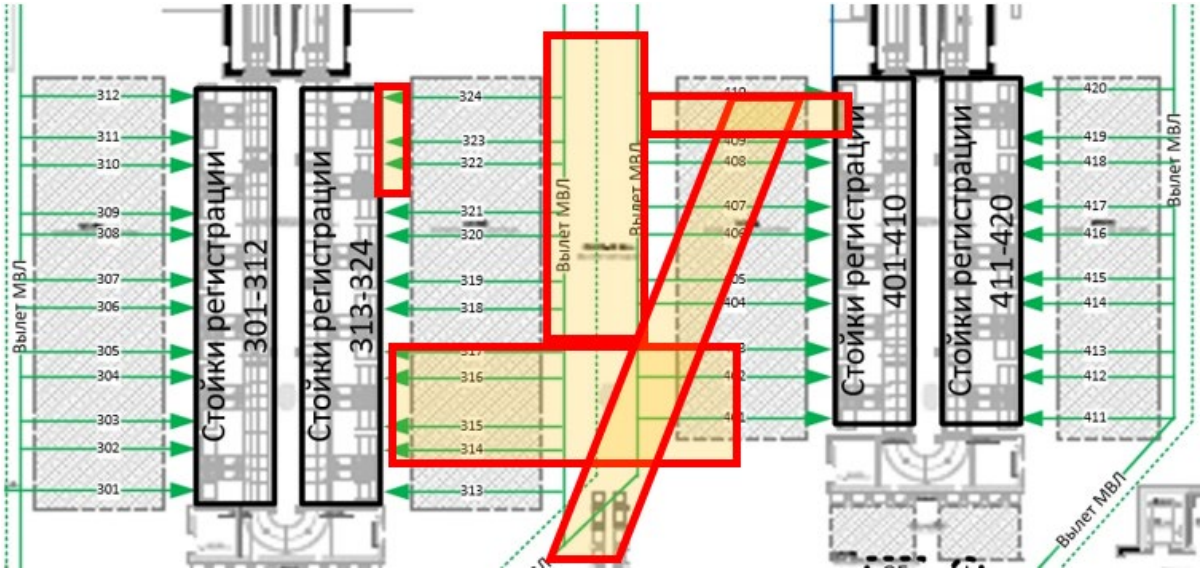


Рисунок 1.24 – Изображение концентрации пассажиров в зоне регистрации

Результаты проведенных замеров времени ожидания обслуживания подтверждают, что в пиковые периоды работы аэропортов повышается интенсивность входящего потока и напряженность в зонах обслуживания. Время ожидания пассажиров уменьшается при увеличении пунктов обслуживания на любом из этапов. Влияние фактора неготовности служб операторов аэропортов к скачкообразному увеличению количества прибывающих пассажиров, например из-за прибытия иностранных туристических групп, ведет к замедлению общего потока пассажиров

При обслуживании вылетающих пассажиров выявились проблемы в области управления потоками пассажиров, необходимость учета индивидуальных характеристик пассажиров (классы обслуживания, особые категории пассажиров с учетом их возрастных и мобильных особенностей, наличие ручной клади и багажа с вероятностью обнаружения в них запрещенных предметов и т.д.) [113].

Большое влияние на результаты работы аэропортов оказывают обеспеченность и уровень подготовки персонала, состояние материально-технического оборудования аэровокзалов, развитость системы управления обслуживания пассажиров, санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия (социальное дистанцирование в местах

потенциального скопления пассажиров, привлечение минимального количества персонала для работы в аэропорту), усиление мер безопасности и контроля за внутриобъектовым и пропускным режимом в аэропорту.

Метод проведения производственного эксперимента был внедрен в процессы контрольных проверок АО «Авиакомпания «Сибирь» по выявлению несоответствий обслуживания пассажиров в аэропорту действующим стандартам качества авиакомпании в области пассажирского опыта, что подтверждается актом внедрения (Приложение 1).

1.4. Методы моделирования обслуживания пассажиров в аэропорту

Моделирование широко используется исследователями, учеными и инженерами в различных областях для анализа и прогнозирования сложных систем, имитации производственных систем и процессов с целью выявления «узких» мест, оптимизации использования ресурсов и снижения затрат. Моделирование технологических процессов обслуживания пассажиров в аэропорту представляет собой достаточно сложную задачу [127, 142], так как сам процесс является нестационарным, поскольку его характеристики имеют сложную структуру и изменяются со временем, а система обслуживания относится к классу стохастических (вероятностных) [41, 75, 151].

Технологический процесс наземного обслуживания пассажиров состоит из обслуживания в аэропорту отправления и аэропорту прибытия (назначения). Как показывают исследования, наземное обслуживание пассажиров в аэропорту составляет около 1,5 часов, из которых 75 % времени расходуется на выполнение предполетных формальностей и 25 % – послеполетных. Методы обслуживания пассажиров в аэропортах отправления можно классифицировать по месту проведения операций (в аэровокзале, на перроне у входа в самолет, в самолете), по способу организации выполнения операций (порейсовый, свободный и смешанный). Обслуживание вылетающих пассажиров осуществляется в аэровокзале аэропорта или иных специально

предназначенных для этого сооружениях, оснащенных необходимым оборудованием, средствами механизации и связи. На выбор авиакомпанией метода наземного обслуживания пассажиров также оказывают влияние конструкция и площадь производственных помещений аэропортов отправления и прибытия.

Рассмотрим работу АвиаТЛУ при взаимодействии систем «Аэропорт (Операторы аэропорта) – Авиакомпания – ОрВД» (рис. 1.25) на этапах приема, обслуживании и отправки ВС [126]. Работа АвиаТЛУ состоит из четырех основных фаз авиационного производства: «Прилет-А», «Прилет-Б», «Вылет-В» и «Вылет-Г».

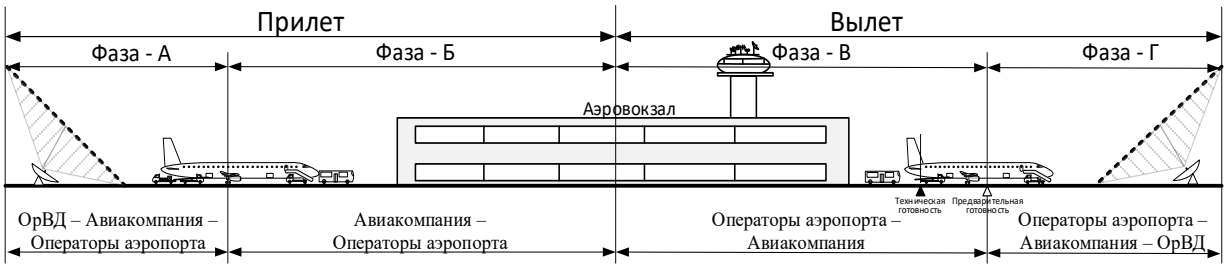


Рисунок 1.25 – Схема работы АвиаТЛУ при обслуживании рейса [130]

1. Фаза «Прилет-А»: движение ВС при приеме (посадке и рулении).

А1. Взаимодействие аэропорта, авиакомпании и ОрВД при посадке ВС.

А2. Руление и установка ВС на место стоянки.

2. Фаза «Прилет-Б». Обслуживание прилетающих пассажиров.

Б1. Высадка пассажиров из ВС.

Б2. Доставка пассажиров к аэровокзалу.

Б3. Пограничный контроль.

Б4. Выдача багажа.

Б5. Таможенный контроль.

Б6. Выход прилетающих пассажиров из аэровокзала.

3. Фаза «Вылет-В». Обслуживание вылетающих пассажиров.

В1. Прибытие вылетающих пассажиров в аэровокзал.

В2. Досмотр авиационной безопасности (АБ) на входе в аэровокзал.

В3. Регистрация пассажиров и оформление багажа.

В4. Таможенный и пограничный контроль.

В5. Предполетный досмотр АБ.

В6. Контроль прибывших пассажиров на посадку в ВС и посадка в транспортное средство (ТС), доставляющее к МС ВС.

В7. Доставка пассажиров к МС ВС.

В8. Посадка пассажиров в ВС.

4. Фаза «Вылет-Г». Движение ВС по аэродрому при вылете.

Г1. Выпуск, руление ВС с места стоянки к месту старта.

Г2. Старт, разбег по ВПП и взлет ВС [130].

Для дальнейшего исследования технологического процесса обслуживания пассажиров рассмотрим фазу «Вылет-В» [147], которая включает в себя технологические этапы обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС» (рис. 1.26) [123].

Рисунок 1.26 – Технологические этапы обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС»

Этапы подготовки пассажиров к рейсу:

Этап 1. Прибытие пассажиров в аэропорт.

Этап 2. Досмотр службой АБ на входе в аэровокзал.

Этап 3. Прохождение пассажирами регистрации и оформление багажа.

Этап 4. Прохождение пассажирами таможенного и пограничного контроля.

Этап 5. Прохождение пассажирами предполетного досмотра АБ.

Этап 6. Прохождение контроля прибывших пассажиров на посадку в ВС и посадка в ТС, доставляющее к МС ВС.

Этап 7. Доставка пассажиров к месту стоянки ВС.

Этап 8. Посадка пассажиров в ВС [125].

Для решения задач определения продолжительности обслуживания пассажиров используют методы, разработанные для детерминированных систем (то есть систем, состояние которых однозначно определяется начальными значениями и может быть предсказано для любого последующего момента времени), например методы линейного программирования, теория оптимального управления. Описание технологических процессов простыми аналитическими зависимостями – алгебраическими уравнениями производительности – предлагает и «Справочное руководство по проектированию аэропорта» IATA (International Air Transport Association). Однако следует учесть, что полученные таким образом результаты являются первым приближением, и к ним следует относиться с определенной осторожностью, анализировать и уточнять, опираясь на опыт и практику. Это, в частности, отмечается и в методиках IATA [107, 113]. Для формального описания технологических процессов в аэропорту используются аппарат теории массового обслуживания (МО) [99-101], имитационное моделирование (ИМ), описание процессов в терминах полумарковских процессов, методы сетевого планирования и управления [27-30].

В основе исследований управления производственными процессами лежит применение математических методов, целью которых является построение оптимальной модели, имитирующей протекание рассматриваемого процесса.

Основными методами решения моделей МО являются аналитическое и статистическое моделирование. Аналитическое моделирование заключается в составлении и аналитическом решении уравнений, описывающих рассматриваемый процесс. Однако аналитические модели МО имеют

ограниченное применение, так как основываются, как правило, на предположении о пуассоновском входящем потоке требований и о простейшем механизме обслуживания. Аналитическому расчету поддаются лишь немногие модели МО. Статистические методы в основном заключаются в анализе данных об общей продолжительности обслуживания [33, 50, 97, 153, 154], что не вскрывает структуры, механизма и ресурса обеспечения процесса, фиксируя лишь конечный результат. Очевидно, что изучение только продолжительности обслуживания недостаточно и не имеет практической ценности, поскольку время, затрачиваемое пассажирами на предполетные процедуры, включает время на перемещения в аэровокзале и ожидание обслуживания, при этом следует учитывать численность потребных ресурсов, обеспечивающих необходимую производительность обсуживающих систем [20, 22, 27 - 29, 58, 59].

В настоящее время для оценки, анализа и прогнозирования показателей эффективности процессов широко используется математический аппарат «полумарковский процесс».

Матричные методы представления и анализа информации являются инструментом системного анализа и применяются на различных его этапах в качестве вспомогательного средства. Матрицы используются для представления и анализа систем в процессе структурно-функциональной декомпозиции их структур и процессов, раскрывают внутренние связи между элементами и их параметрами для разработки математических моделей оценки эффективности управления производственными процессами, этапами и их операциями [19, 156].

Для решения ряда трудоемких задач управления технологическими процессами применяются имитационные модели [79]. С точки зрения детализации поведения сложных систем, имитационное моделирование по сравнению с «классическими» математическими моделями обладает большей гибкостью. Поэтому к методу имитационного моделирования обращаются в тех случаях, когда аналитическое решение задачи исследования данного

процесса существенно затруднено или невозможно. Все изложенное позволяет сделать вывод о целесообразности применения нестохастического имитационного моделирования, учитывающего параметры элементов системы обслуживания пассажиров при решении слабоструктурированных задач [36, 59, 72, 111].

1.5. Обоснование матричного подхода при моделировании обслуживания пассажиров в аэропорту

Важной задачей оптимизации функциональных подсистем аэропорта является оптимальное комплектование ресурсов, состоящее в определении их типов и численности при удовлетворении заданных ограничений.

С целью минимизации неопределенности [45, 80] при изменении параметров свойств обслуживающего персонала, технологического оборудования, зон обслуживания в аэровокзале следует учитывать взаимодействие во времени следующих элементов и их параметров, обеспечивающих выполнение обслуживания пассажиров:

1. Предмет (объект) труда;
2. Процесс (этапы, операции);
3. Персонал;
4. Техника, приборы, оборудование;
5. Энергообеспечение;
6. Коммуникации, рабочие зоны, рабочие места и т.д.;
7. Экология;
8. Безопасность.

Рассмотрим структурную матрицу B системы, у которой число строк I ($i=\overline{1,I}$) равно числу взаимодействующих элементов, обеспечивающих выполнение работ, а число столбцов N ($n=\overline{1,N}$) – числу технологических этапов [16]. Эта матрица дает возможность комплексно рассматривать взаимодействие элементов при выполнении работ:

$$B=\begin{pmatrix} a_{1.1.} & \cdots & a_{1.n.} & \cdots & a_{1.N.} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i.1.} & \cdots & a_{i.n.} & \cdots & a_{i.N.} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{I.1.} & \cdots & a_{I.n.} & \cdots & a_{I.N.} \end{pmatrix}.$$

Структурная декомпозиция матрицы B, состоящей из отдельных взаимосвязанных подсистем, позволяет рассматривать исследуемую систему как сложную.

Матрица n представляет модель подсистемы n-го этапа, состоящего из операций $k=\overline{1,K}$, определяющих модули, и имеет следующий вид:

$$n=\begin{pmatrix} a_{1.n\ 1.} & \cdots & a_{1.n\ k.} & \cdots & a_{1.n\ K.} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i.n\ 1.} & \cdots & a_{i.n\ k.} & \cdots & a_{i.n\ K.} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{I.n\ 1.} & \cdots & a_{I.n\ k.} & \cdots & a_{I.n\ K.} \end{pmatrix}.$$

Модуль k представляет собой модель структуры взаимодействующих элементов при выполнении k-й операции подсистемы n-ого этапа и может быть рассмотрен в качестве структурной единицы [125]:

$$k=\begin{pmatrix} a_{1.n\ k.} \\ \cdots \\ a_{i.n\ k.} \\ \cdots \\ a_{I.n\ k.} \end{pmatrix}.$$

Глубина декомпозиции системы до модулей, то есть степень подробности ее описания, и количество уровней определены обозримостью и удобством восприятия получаемой иерархической структуры.

Выводы по главе 1

В первом разделе проведен анализ работы АвиаТЛС и рассмотрен АвиаТЛУ, состоящий из взаимосвязанных систем «Аэропорт (Операторы аэропорта) – Авиакомпания – ОрВД». Анализ функционирования аэропортов и оценка регулярности полетов воздушных судов позволили определить практическую задачу повышения пунктуальности при подготовке и выполнении авиарейсов, которая связана с пропускной способностью обслуживающих систем в условиях неопределенности.

Проведенный эксперимент на производстве выявил пиковые значения нагрузок аэропорта, фактическое время наиболее нагруженных этапов технологических процессов обслуживания пассажиров в период повышенной интенсивности воздушных перевозок, что определяет актуальность темы диссертационной работы и постановку научной задачи, связанной с разработкой методов и средств поддержки принятия решений, позволяющих минимизировать фактическое время обслуживания пассажиров в аэропорту с учетом факторов неопределенности, для повышения эффективности эксплуатации воздушного транспорта.

В связи с этим, возникает необходимость совершенствования методов принятия управленческих решений с использованием имитационного моделирования, средств автоматизации процессов эксплуатации воздушного транспорта и технических систем обучения авиационного персонала.

2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ПАССАЖИРОВ В АЭРОПОРТУ

2.1. Формирование системы обслуживания пассажиров в аэропорту с применением матричного подхода

Научное исследование систем представляет собой всестороннее, достоверное изучение объектов, процессов или явлений, их структуры, связей и отношений на основе разработанных принципов и методов с учетом воздействия возмущающих факторов различной природы (внутренних и внешних), а также получение и внедрение в производство полезных результатов [123].

Эффективное управление технологическими этапами обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС» в аэропорту основано на следующих принципах, способствующих обеспечению пунктуальности «точно вовремя» подготовки пассажиров и выполнения рейсов:

- единый методологический подход при выполнении анализа, систематизации логистических процессов, формировании системы поддержки принятия решений и синтеза комплексной системы управления в аэропорту;
- системность – общенаучный методологический принцип, основанный на понимании системы как упорядоченного целого, имеющего структуру, прямые и обратные связи, которая состоит из элементов и их свойств;
- комплексность, которая определяется координационными связями по горизонтали, связями сотрудничества, партнерства, и использует такие свойства больших систем, как синергия и адаптивность (логистическая синергия – эффект взаимного усиления связей логистической системы);
- модульность, определяющая каждую операцию как систему

взаимодействующих элементов и их параметров при выполнении операций на этапах подготовки и выполнения авиарейса;

- 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;
- когнитивное управление сложной динамической организационно-технической системой, основанное на знаниях и цифровых технологиях;
- пунктуальность, организация эффективного взаимодействия систем, участвующих в подготовке и выполнении рейса и обеспечивающих пунктуальность на логистических принципах «от двери до двери» и «точно вовремя» [51, 122, 123].

В ходе декомпозиции по иерархическому и функциональному принципам (табл. 2.1) формируется система обслуживания пассажиров в аэропорту (табл. 2.2). Так, на следующем уровне декомпозиции по иерархическому принципу формируется структура подсистемы обслуживания пассажиров (табл. 2.3, 2.4), состоящая из операций обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС» (рис. 2.1).

Таблица 2.1 – Структурно-функциональная декомпозиция системы обслуживания пассажиров

Структурно-функциональная декомпозиция				
Уровень декомпозиции	Структурная декомпозиция		Функциональная декомпозиция	
1	2	3	4	5
1	ТЛС смешанных перевозок	Комплекс взаимодействия различных видов транспорта	Транспортная работа	Транспортная работа при взаимодействии видов транспорта

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5
2	Отраслевой транспортно-логистический комплекс	Авиационный транспортно-логистический комплекс	Виды работ	Транспортная работа авиационного транспортно-логистического комплекса
3	Транспортно-логистический узел	Авиационный транспортно-логистический узел (АТЛУ)	Фаза	*F*-я фаза
4	Система	Система *P*-я	Технология	*P*-й процесс
5	Подсистема	Подсистема *n*-я	Этап	*n*-й этап
6	Модуль	Модуль *k*-й	Операция	*k*-я операция
7	Элементы модуля	Средства *i*-го производства (средства труда и предметы труда)	Функция элемента модуля	*i*-я функция
8	Свойства элементов модуля	Свойства средств и предметов труда	Параметры элементов модуля	Параметры свойств средств и предметов труда

Рисунок 2.1 – Технологические этапы и операции обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС»

Этапы и операции подготовки пассажиров к рейсу [125]:

Этап 1. Прибытие пассажиров в аэропорт.

Этап 2. Досмотр на входе в аэровокзал:

Операция 2.1. Вход в зону досмотра, получение информации о процедуре прохождения пункта досмотра.

Операция 2.2. Досмотр личных вещей.

Операция 2.3. Досмотр пассажира.

Операция 2.4. Выход из зоны.

Этап 3. Прохождение пассажирами регистрации и оформление багажа:

Операция 3.1. Вход в зону регистрации.

Операция 3.2. Обмен информацией, предъявление документов, удостоверяющих личность и билет.

Операция 3.3. Взвешивание багажа и ручной клади.

Операция 3.4. Принятие пассажира на рейс, подтверждение электронного билета, ввод ремарок, назначение места в салоне ВС, ввод данных о багаже и ручной клади.

Операция 3.5. Оформление посадочного талона, багажной бирки и багажа.

Операция 3.6. Выдача посадочного талона, бирки на багаж, документов, удостоверяющих личность и билет.

Операция 3.7. Выход из зоны.

Этап 4. Прохождение пассажирами таможенного и пограничного контроля:

Операция 4.1. Прохождение таможенного контроля.

Операция 4.2. Прохождение пограничного контроля.

Этап 5. Прохождение пассажирами предполетного досмотра АБ:

Операция 5.1. Вход в зону досмотра, сверка посадочного талона с документом, удостоверяющим личность пассажира, получение информации о процедуре прохождения пункта досмотра.

Операция 5.2. Досмотр личных вещей.

Операция 5.3. Досмотр пассажира.

Операция 5.4. Выход из зоны.

Этап 6. Прохождение контроля явившихся пассажиров на посадку в ВС и посадка в ТС, доставляющее к месту стоянки (МС) ВС:

Операция 6.1. Объявление о начале посадки.

Операция 6.2. Контроль (сканирование штрих-кода с посадочных талонов) явившихся пассажиров на посадку.

Операция 6.3. Посадка пассажиров автобус.

Операция 6.4. Распечатка документов, необходимых для передачи на борт экипажу.

Этап 7. Доставка пассажиров к месту стоянки ВС:

Операция 7.1. Посадка в автобус.

Операция 7.2. Транспортировка пассажиров до места стоянки ВС.

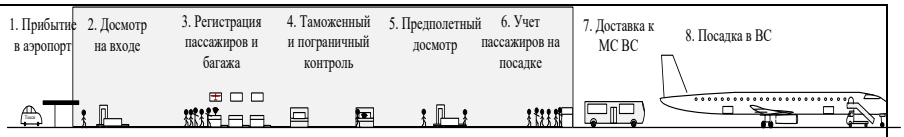
Операция 7.3. Высадка из автобуса.

Этап 8. Посадка пассажиров в ВС:

Операция 8.1. Подъем по трапу.

Операция 8.2. Рассадка в салоне ВС [125, 130].

2.2 – Матричная структура системы обслуживания пассажиров ($P_{1.1.}$)

№	Элемент системы								
		Этап системы подготовки пассажиров к рейсу							
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	$P_{8.1.}$	$P_{8.2.}$	$P_{8.3.}$	$P_{8.4.}$	$P_{8.5.}$	$P_{8.6.}$	$P_{8.7.}$	$P_{8.8.}$

По результатам проведенного производственного эксперимента, описанного в разделе 1.3, в технологическом процессе обслуживания пассажиров наиболее трудоемкими и длительными являются досмотр на входе, регистрация пассажиров и оформление багажа к перевозке. Рассмотрим элементы *n*-й матрицы подсистем «Досмотр на входе» и «Регистрация пассажиров и багажа» как наиболее нагруженные и влияющие на безопасность полетов.

Результаты работы на *k*-х операциях рассматриваемой подсистемы обеспечивают следующие взаимосвязанные и взаимодействующие элементы [16]:

1. Предметы труда – пассажиры k-й операции ($P_{1.3\ k.}$), обладающие различными свойствами.

2. Технологический процесс *k-й* операции ($P_{2.3\ k.}$) – характеристика выполняемого процесса, описывается временными параметрами.

3. Персонал k-й операции ($P_{3.3\ k.}$) – исполнители технологических процессов, обладающие требуемыми для выполняемого процесса свойствами (компетенциями, здоровьем, культурой труда и взаимодействия и т.д) и готовы выполнять свои функции.

4. Средства труда k-й операции ($P_{4.3\ k.}$) – техника, приборы, оборудование – определяют тип, вид техники, ее свойства и готовность, необходимые для выполнения своих функций.

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

6. Коммуникации *k-й* операции ($P_{6.3\ k.}$) – зоны облуживания пассажиров, рабочие зоны для работы техники и персонала и т.д.

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 [119].

Таблица 2.3 – Матричная структура *n*-й подсистемы «Досмотр на входе»

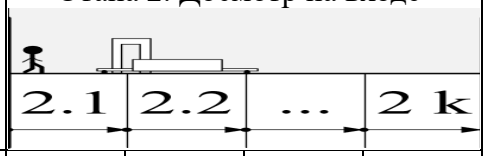
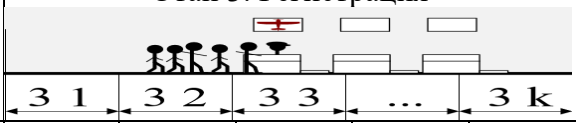
№	Элемент системы	Операции Этапа 2. Досмотр на входе  			
1	Пассажиры	$P_{1.2\ 1.}$	$P_{1.2\ 2.}$	$P_{1.2\ ...}$	$P_{1.2\ k.}$
2	Технологический процесс	$P_{2.2\ 1.}$	$P_{2.2\ 2.}$	$P_{2.2\ ...}$	$P_{2.2\ k.}$
3	Персонал	$P_{3.2\ 1.}$	$P_{3.2\ 2.}$	$P_{3.2\ ...}$	$P_{3.2\ k.}$
4	Техника	$P_{4.2\ 1.}$	$P_{4.2\ 2.}$	$P_{4.2\ ...}$	$P_{4.2\ k.}$
5	Энергообеспечение	$P_{5.2\ 1.}$	$P_{5.2\ 2.}$	$P_{5.2\ ...}$	$P_{5.2\ k.}$
6	Коммуникации	$P_{6.2\ 1.}$	$P_{6.2\ 2.}$	$P_{6.2\ ...}$	$P_{6.2\ k.}$
7	Экология	$P_{7.2\ 1.}$	$P_{7.2\ 2.}$	$P_{7.2\ ...}$	$P_{7.2\ k.}$
8	Безопасность	$P_{8.2\ 1.}$	$P_{8.2\ 2.}$	$P_{8.2\ ...}$	$P_{8.2\ k.}$

Таблица 2.4 – Матричная структура *n*-й подсистемы «Регистрация пассажиров и багажа»

№	Элемент системы	Операции Этап 3. Регистрация  				
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	$P_{8.3\ 1.}$	$P_{8.3\ 2.}$	$P_{8.3\ 3.}$	$P_{8.3\ ...}$	$P_{8.3\ k.}$

Декомпозиция подсистемы обслуживания вылетающих пассажиров представляет собой вариант структуризации по модульному принципу, который состоит из взаимосвязанных и взаимодействующих элементов системы и может быть рассмотрен в качестве структурной единицы – модуля, (например, матричная модель модуля «Принятие пассажира на рейс», табл. 2.5). Эффективность работы подсистемы «Регистрация пассажиров и их багажа» зависит от результата взаимодействия ее модулей.

Таблица 2.5 – Матричная структура модуля 3 4 «Принятие пассажира на рейс» [123]

№	Элемент 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	$P_{8.3\ 4.}$

Дальнейшее рассмотрение модуля представляет собой описание свойств и состояний элементов системы и их параметров. На примере модуля 4 подсистемы 3 «Принятие пассажира на рейс» рассмотрим свойства и состояния элементов (табл. 2.6–2.13).

Таблица 2.6 – Свойства и состояния пассажиров *k-й* операции ($P_{1.3\ 4.}$)

№ п/п	Свойство (признак), состояние	Параметр	Единица измерения
1.	Количество пассажиров (один/группа)	$N_{пс}$	*Чел.*
2.	Возраст пассажиров	$A_{пс}$	*лет*
3.	Уровень общего состояния здоровья пассажира	$GH_{пс}$	*балл*
4.	Мобильность пассажира	*WCH*	*C/S/R*
5.	Направление перелета	*ВВЛ/МВЛ*	*ВВЛ/МВЛ*
6.	Класс обслуживания пассажиров	*Class*	*F/C/Y*
7.	Тип маршрута	*Transit/Transfer*	*I/O*
8.	Количество багажа	$N_{баг}$	*ед*
9.	Количество ручной клади	$N_{р/к}$	*ед*
10.	Наличие крупногабаритного багажа	$N_{Кбаг}$	*ед*
11.	Наличие тяжеловесного багажа	$N_{Тбаг}$	*ед*
12.	Наличие живого животного в багаже	$N_{Жж}$	*ед*
13.	Наличие запрещенных предметов	$N_{Зп}$	*ед*
14.	Наличие оружия в багаже	$N_{Ор}$	*ед*
15.	Скорость движения пассажиров	$V_{пс}$	*м/с*
16.	Пассажирский опыт	$Ex_{пс}$	*балл*
17.	Язык общения	$Ln_{пс}$	*Рус, Англ*
18.	Регистрация на сайте	*SCHN*	*да/нет*
19.	Самостоятельное обслуживание на мобильном устройстве и/или в киоске	Ss_{nk}	*да/нет*
20.	Площадь, занимаемая одним пассажиром	$S_{пс}$	$м^2$
21.	Площадь, занимаемая пассажиром с багажом	$S_{пссбаг}$	$м^2$
22.	Площадь, занимаемая пассажиром на коляске	$S_{пск}$	$м^2$
23.	Площадь, занимаемая пассажиром с детской коляской	$S_{псдк}$	$м^2$

Таблица 2.7 – Характеристика процесса *k-й* операции ($P_{2.3\ 4.}$)

№ п/п	Свойство (признак), состояние	Параметр	Единица измерения
1.	Начальное время обслуживания	$t_{3\ 4}^{нач}$	*мин*
2.	Конечное время обслуживания	$t_{3\ 4}^{кон}$	*мин*
3.	Плановое время обслуживания	$t_{3\ 4}^{пл}$	*мин*
4.	Фактическое время обслуживания	$t_{3\ 4}^{ф}$	*мин*
5.	Среднее время обслуживания	$t_{3\ 4}^{ср}$	*мин*
6.	Минимальное время обслуживания	$t_{3\ 4}^{мин}$	*мин*

Продолжение таблицы 2.7

7.	Максимальное время обслуживания	$t_{3\ 4}^{макс}$	*мин*
8.	Отклонение от начального времени обслуживания	$\Delta t_{3\ 4}^{нач}$	*мин*
9.	Отклонение от конечного времени обслуживания	$\Delta t_{3\ 4}^{кон}$	*мин*
10.	Отклонение от планового времени обслуживания	$\Delta t_{3\ 4}^{пл}$	*мин*
11.	Интенсивность потока пассажиров	λ	*чел/мин*

Таблица 2.8 – Свойства и состояния персонала *k-й* операции ($P_{3.3\ 4.}$)

№ п/п	Свойство (признак), состояние	Параметр	Единица измерения
1.	Коммуникабельность	$Sc_{пр}$	*балл*
2.	Знание иностранных языков	$Ln_{пр}$	*Рус, Англ*
3.	Производительность	$p_{пр,3\ 4}$	*пасс/мин*
4.	Количество персонала	$N_{пр}$	*чел*
5.	Возраст	$A_{пр}$	*лет*
6.	Уровень общего состояния здоровья персонала	$GH_{пр}$	*балл*
7.	Уровень образования	$Ed_{пр}$	*СПО/ВО*
8.	Стаж работы	Lw	*лет*
9.	Уровень подготовки на рабочем месте	$Ex_{пр}$	*балл*
10.	Работа в коллективе	Tw	*балл*
11.	Трудовая дисциплинированность	Ld	*балл*
12.	Аналитическое мышление	At	*балл*
13.	Рабочая площадь, занимаемая персоналом	$S_{пр}$	*м*^{2}

Таблица 2.9 – Свойства и состояния техники, приборов и оборудования *k-й* операции ($P_{4.3\ 4.}$)

№ п/п	Свойство (признак), состояние	Параметр	Единица измерения
1.	Язык интерфейса	Ln_m	*Рус, Англ*
2.	Возможность работы с пассажирами особых категорий	GH_m	*балл*
3.	Производительность	$p_{пр,nk}$	*пасс/мин*
4.	Количество техники	N_m	*чел*
5.	Эргономичность	Sc_m	*балл*
6.	Срок эксплуатации	A_m	*лет*
7.	Надежность (количество отказов за период)	I_m	*ед/час*
8.	Совместимость с другим оборудованием	Com_m	*балл*

Продолжение таблицы 2.9

9.	Габариты техники	$B_m/H_m/L_m$	*мм*
10.	Площадь, занимаемая техникой	S_m	$м^2$
11.	Удельный расход эл. энергии	W_m	*Вт/ч*

Таблица 2.10 – Характеристики энергообеспечения *k-й* операции ($P_{5.3\ 4.}$)

№ п/п	Свойство (признак), состояние	Параметр	Единица измерения
1.	Электроснабжение техники, приборов, оборудования рабочих зон	P_m	*Вт*
2.	Теплоснабжение рабочих зон	$Q_{эн}$	*Дж*

Таблица 2.11 – Свойства и состояния коммуникаций *k-й* операции ($P_{6.3\ 4.}$)

№ п/п	Свойство (признак), состояние	Параметр	Единица измерения
1.	Площадь зоны обслуживания	$S_{кмпс}$	$м^2$
2.	Площадь рабочей зоны для персонала	$S_{кмпр}$	$м^2$
3.	Площадь рабочей зоны для техники, приборов и оборудования	$S_{кмт}$	$м^2$
4.	Язык визуального информирования	$Ln_{кмв}$	*Рус, Англ*
5.	Язык звукового информирования	$Ln_{кмзв}$	*Рус, Англ*
6.	Доступность зон для маломобильных пассажиров	*WCH*	*балл*

Таблица 2.12 – Характеристики экологии *k-й* операции ($P_{7.3\ 4.}$)

№ п/п	Свойство (признак), состояние	Параметр	Единица измерения
1.	Количество неблагоприятных событий	$N_{эк}$	*ед*
2.	Величина ущерба в стоимостном выражении	$U_{эк}$	*руб*

Таблица 2.13 – Характеристики безопасности *k-й* операции ($P_{8.3\ 4.}$)

№ п/п	Свойство (признак), состояние	Параметр	Единица измерения
1.	Кол-во пожароопасных объектов	$N_{попб}$	*ед*
2.	Кол-во огнетушителей	$N_{опб}$	*ед*
3.	Кол-во гидрантов	$N_{гпб}$	*ед*
4.	Кол-во систем определения пожара	$N_{соппб}$	*ед*
5.	Обеспечение эвакуации в случае чрезвычайных ситуаций	$Км_б$	*балл*
6.	Эргономичность	$Эр_б$	*балл*
7.	Охрана труда	$О_{трб}$	*балл*
8.	Электробезопасность	$Эл_б$	*балл*

Полученный в результате декомпозиции модуль является функционально завершенным фрагментом процесса обслуживания пассажиров, работа которого определяет фактическое время обслуживания пассажира на операциях. Безотказная работа модуля обеспечивается наилучшим сочетанием значений параметров свойств и состояний элементов модулей, взаимодействующих межу собой. Если значения параметров свойств или состояний элементов модуля выходят за нормативные (приемлемые, расчетные, плановые) значения, происходят сбои в работе как модуля, так и всей подсистемы, что предполагает необходимость их учета и обусловливает принятие решений для восстановления нормального функционирования подсистемы [92, 104, 158].

Для определения фактического времени обслуживания пассажира на операциях потребуется рассмотреть взаимодействие элементов модулей, обеспечивающих обслуживание пассажиров.

2.2. Определение факторов, влияющих на свойства элементов модулей, обеспечивающих обслуживание пассажиров

Проблемы безотказной работы подсистемы определяются сочетаниями параметров свойств элементов, модулей и надсистем, а также свойствами внутренней и внешней среды [125]. Опасные сочетания свойств и состояний могут проявляться на начальном состоянии элементов, в их взаимодействии между собой или со средой (внешней и внутренней) при выполнении работы, а также вследствие влияния свойств элементов модуля на свойства среды [120]. К свойствам внешней среды могут относиться: время года, время суток и погода и т. д., а для представления внутренних свойств рассмотрим матрицу взаимодействия элементов модуля (табл. 2.14), анализ которой определяет коэффициенты, влияющие на производительность модуля.

Таблица 2.14 – Матрица взаимодействия параметров свойств элементов

Элемент модуля		Элемент модуля							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Пассажиры	$\frac{\text{Пасс}}{\text{Пасс}}$	$\frac{\text{Тех. пр}}{\text{Пасс}}$	$\frac{\text{Перс}}{\text{Пасс}}$	$\frac{\text{Техн}}{\text{Пасс}}$	$\frac{\text{Эн}}{\text{Пасс}}$	$\frac{\text{Ком}}{\text{Пасс}}$	$\frac{\text{Эк}}{\text{Пасс}}$	$\frac{\text{Без}}{\text{Пасс}}$
2	Технологический процесс	$\frac{\text{Пасс}}{\text{Тех. пр}}$	$\frac{\text{Тех. пр}}{\text{Тех. пр}}$	$\frac{\text{Перс}}{\text{Тех. пр}}$	$\frac{\text{Техн}}{\text{Тех. пр}}$	$\frac{\text{Эн}}{\text{Тех. пр}}$	$\frac{\text{Ком}}{\text{Тех. пр}}$	$\frac{\text{Эк}}{\text{Тех. пр}}$	$\frac{\text{Без}}{\text{Тех. пр}}$
3	Персонал	$\frac{\text{Пасс}}{\text{Перс}}$	$\frac{\text{Тех. пр}}{\text{Перс}}$	$\frac{\text{Перс}}{\text{Перс}}$	$\frac{\text{Техн}}{\text{Перс}}$	$\frac{\text{Эн}}{\text{Перс}}$	$\frac{\text{Ком}}{\text{Перс}}$	$\frac{\text{Эк}}{\text{Перс}}$	$\frac{\text{Без}}{\text{Перс}}$
4	Техника	$\frac{\text{Пасс}}{\text{Техн}}$	$\frac{\text{Тех. пр}}{\text{Техн}}$	$\frac{\text{Перс}}{\text{Техн}}$	$\frac{\text{Техн}}{\text{Техн}}$	$\frac{\text{Эн}}{\text{Техн}}$	$\frac{\text{Ком}}{\text{Техн}}$	$\frac{\text{Эк}}{\text{Техн}}$	$\frac{\text{Без}}{\text{Техн}}$
5	Энергообеспечение	$\frac{\text{Пасс}}{\text{Эн}}$	$\frac{\text{Тех. пр}}{\text{Эн}}$	$\frac{\text{Перс}}{\text{Эн}}$	$\frac{\text{Техн}}{\text{Эн}}$	$\frac{\text{Эн}}{\text{Эн}}$	$\frac{\text{Ком}}{\text{Эн}}$	$\frac{\text{Эк}}{\text{Эн}}$	$\frac{\text{Без}}{\text{Эн}}$
6	Коммуникации	$\frac{\text{Пасс}}{\text{Ком}}$	$\frac{\text{Тех. пр}}{\text{Ком}}$	$\frac{\text{Перс}}{\text{Ком}}$	$\frac{\text{Техн}}{\text{Ком}}$	$\frac{\text{Эн}}{\text{Ком}}$	$\frac{\text{Ком}}{\text{Ком}}$	$\frac{\text{Эк}}{\text{Ком}}$	$\frac{\text{Без}}{\text{Ком}}$
7	Экология	$\frac{\text{Пасс}}{\text{Эк}}$	$\frac{\text{Тех. пр}}{\text{Эк}}$	$\frac{\text{Перс}}{\text{Эк}}$	$\frac{\text{Техн}}{\text{Эк}}$	$\frac{\text{Эн}}{\text{Эк}}$	$\frac{\text{Ком}}{\text{Эк}}$	$\frac{\text{Эк}}{\text{Эк}}$	$\frac{\text{Без}}{\text{Эк}}$
8	Безопасность	$\frac{\text{Пасс}}{\text{Без}}$	$\frac{\text{Тех. пр}}{\text{Без}}$	$\frac{\text{Перс}}{\text{Без}}$	$\frac{\text{Техн}}{\text{Без}}$	$\frac{\text{Эн}}{\text{Без}}$	$\frac{\text{Ком}}{\text{Без}}$	$\frac{\text{Эк}}{\text{Без}}$	$\frac{\text{Без}}{\text{Без}}$

При рассмотрении свойств и состояний (табл. 2.6–2.13) на основе экспертной оценки [108] выявляются зависимости между элементами, влияющими на фактическое время выполнение работы, например:

- взаимодействие между пассажирами ($\frac{\text{Пасс}}{\text{Пасс}}$) – пассажирский опыт, язык общения и т.д.;
- своевременность начала и окончания выполнения работы ($\frac{\text{Пасс}}{\text{Тех.пр}}$) – скорость движения пассажиров, пассажирский опыт, интенсивность потока пассажиров и т.д.;
- взаимодействие пассажиров с персоналом ($\frac{\text{Пасс}}{\text{Перс}}$) – язык общения, класс обслуживания пассажиров, состояние здоровья пассажира, наличие особых свойств пассажира, багажа и ручной клади – влияет на производительность персонала и т. д.;
- взаимодействие пассажиров с техникой ($\frac{\text{Пасс}}{\text{Техн}}$) – регистрация на сайте, на мобильном устройстве и/или в киоске самообслуживания и т.д.;
- взаимодействие пассажиров с коммуникациями ($\frac{\text{Пасс}}{\text{Ком}}$) – (площадь,

занимаемая пассажиром, пассажиром с багажом, на инвалидной коляске, с детской коляской и т. д.;

- взаимодействие персонала с пассажирами ($\frac{\text{Перс}}{\text{Пасс}}$) – коммуникабельность, возраст, знание иностранных языков и т. д.;
- своевременность начала и окончания выполнения работы ($\frac{\text{Перс}}{\text{Тех.пр}}$) – трудовая дисциплинированность, соответствующий уровень подготовки на рабочем месте, состояние здоровья и т. д.;
- взаимодействие персонала с техникой ($\frac{\text{Перс}}{\text{Перс}}$) – коммуникабельность, возраст, состояние здоровья персонала, стаж работы, соответствующий уровень подготовки на рабочем месте, работа в коллективе, трудовая дисциплинированность и т. д.;
- взаимодействие персонала с техникой ($\frac{\text{Перс}}{\text{Техн}}$) – производительность, уровень подготовки на рабочем месте, знание иностранных языков, аналитическое мышление и т. д.;
- взаимодействие персонала с коммуникациями ($\frac{\text{Перс}}{\text{Ком}}$) – площадь, занимаемая персоналом, и т. д.;
- взаимодействие техники с пассажирами ($\frac{\text{Техн}}{\text{Пасс}}$) – язык интерфейса, возможность работы с пассажирами особых категорий, количество техники, эргономичность, габариты и т. д.;
- своевременность начала и окончания выполнения работы ($\frac{\text{Техн}}{\text{Тех.пр}}$) – производительность, срок эксплуатации, надежность и т. д.;
- взаимодействие техники с персоналом ($\frac{\text{Техн}}{\text{Перс}}$) – язык интерфейса, эргономичность, габариты и т. д.;
- взаимодействие техники с техникой ($\frac{\text{Техн}}{\text{Техн}}$) – интерфейс, габариты, совместимость с другим оборудованием и т. д.;
- энергообеспечение техники ($\frac{\text{Техн}}{\text{Эн}}$) – уд. расход электроэнергии и т. д.;

- взаимодействие техники с коммуникациями ($\frac{\text{Техн}}{\text{Ком}}$) – габариты, рабочая площадь, занимаемая техникой и т. д.;
- взаимодействие коммуникаций с пассажирами ($\frac{\text{Ком}}{\text{Пасс}}$) – скорость движения пассажиров, язык визуального и звукового информирования пассажиров, доступность зон для маломобильных пассажиров и т. д.;
- взаимодействие коммуникаций с персоналом ($\frac{\text{Ком}}{\text{Перс}}$) – производительность, количество персонала, площадь рабочей зоны для персонала, язык визуального и звукового информирования, доступность зон для маломобильных пассажиров и т. д.;
- взаимодействие коммуникаций с техникой ($\frac{\text{Ком}}{\text{Техн}}$) – производительность, количество техники, площадь рабочей зоны для техники, габариты техники и т. д.;
- взаимодействие коммуникаций с энергообеспечением ($\frac{\text{Ком}}{\text{Эн}}$) – тепло- и электроснабжение рабочих зон и т. д.

Для своевременного завершения технологического процесса по обслуживанию пассажиров в диссертационной работе предлагается рассматривать математическую модель фактического времени, чувствительную к изменениям свойств элементов, которые зависят от неопределенности влияния различных факторов.

2.3. Ресурсно-временная модель фактического времени выполнения работ по обслуживанию пассажиров

Математические модели отдельных операций, входящих в модельный технологический график, должны отражать связи между продолжительностью этих операций, численностью привлекаемого персонала и технических средств, их свойствами, состояниями и характеристиками. Для примера моделирования фактического времени выполнения обслуживания пассажиров

будем учитывать изменение параметров свойств обслуживающего персонала, технологического оборудования, зон обслуживания в аэропорту.

Плановое время выполнения $T^{пл}$ технологического процесса (элемента 2) матрицы системы обслуживания пассажиров является суммой времени выполнения этапов $t_n^{пл}$:

$$T^{пл} = t_1^{пл} + t_2^{пл} + t_3^{пл} + t_4^{пл} + t_5^{пл} + t_6^{пл} + t_7^{пл} + t_8^{пл}. \quad (2.1)$$

Фактическое время выполнения $T^{ф}$ технологического процесса (элемента 2) матрицы системы обслуживания пассажиров является суммой фактического времени выполнения этапов $t_n^{ф}$:

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

$$= (t_1^{пл} + \Delta t_1) + (t_2^{пл} + \Delta t_2) + (t_3^{пл} + \Delta t_3) + (t_4^{пл} + \Delta t_4) + (t_5^{пл} + \Delta t_5) + (t_6^{пл} + \Delta t_6) + (t_7^{пл} + \Delta t_7) + (t_8^{пл} + \Delta t_8). \quad (2.2)$$

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

$$t_n^{пл} = t_{n1}^{пл} + t_{n2}^{пл} + \ldots + t_{nK}^{пл}. \quad (2.3)$$

В продолжение рассмотрения элементов n-й подсистемы как наиболее трудоемкой фактическое время выполнения этапа:

$$t_n^{ф} = t_{n1}^{ф} + t_{n2}^{ф} + \ldots + t_{nK}^{ф} = (t_{n1}^{пл} + \Delta t_{n1}) + (t_{n2}^{пл} + \Delta t_{n2}) + \ldots + (t_{nk}^{пл} + \Delta t_{nK}). \quad (2.4)$$

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

$$t_{nk}^{ф} = t_{nk}^{пл} + \Delta t_{nk} = \frac{t_{nk}^{пл}}{t_{nk}^{пл}}(t_{nk}^{пл} + \Delta t_{nk}) = t_{nk}^{пл}\left(1 + \frac{\Delta t_{nk}}{t_{nk}^{пл}}\right) = t_{nk}^{пл} \cdot K_{nk}^{t^{ф}}, \quad (2.5)$$

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.

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

$$t_{nk}^{ф} = \frac{N_{nc.nk}^{пл}}{p_{nk}^{ф}} = \frac{N_{nc.nk}^{пл}}{\frac{N_{nc.nk}^{пл}}{t_{nk}^{ф}}} = \frac{N_{nc.nk}^{пл}}{\frac{N_{nc.nk}^{пл}}{t_{nk}^{пл}\left(1+\frac{\Delta t_{nk}}{t_{nk}^{пл}}\right)}} = \frac{N_{nc.nk}^{пл}}{\frac{N_{nc.nk}^{пл}}{t_{nk}^{пл}\cdot K_{nk}^{t^{ф}}}} = \frac{N_{nc.nk}^{пл}\cdot K_{nk}^{t^{ф}}}{p_{nk}^{пл}} . \quad (2.6)$$

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

$$K_{n.k}^{t^{ф}} = \prod_{i=1}^{I} k_{i,nk} = k_{nc,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{пр,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{т,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{эн,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{км,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{эк,nk}^{t^{ф}} \cdot k_{б,nk}^{t^{ф}} , \quad (2.7)$$

где $k_{nc,nk}$ – 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 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 аналитическими зависимостями взаимодействия параметров свойств элементов, обеспечивающих обслуживание пассажиров, на основе матрицы взаимодействия.

2.4. Кибернетическая модель системы управления обслуживанием пассажиров в аэропорту

Исследование систем представляет собой всестороннее изучение объектов, процессов или явлений, их структуры, связей и отношений на основе разработанных принципов и методов с учетом неопределенности влияния факторов различной природы (внутренних и внешних), а также получение и внедрение в производство полезных результатов [47, 123].

Эффективное управление технологическими этапами обслуживания вылетающих пассажиров «от дверей аэровокзала до дверей ВС» в аэропорту обеспечивается применением принципа когнитивного управления сложной динамической организационно-технической системой, основанного на знаниях и цифровых технологиях [51].

Система обслуживания пассажиров как целенаправленная, сложная динамическая система является управляемой и относится к категории кибернетических систем [122]. Непрерывность управления (постоянный контроль) минимизирует отклонения параметров элементов под воздействием внешних и внутренних факторов, что способствует повышению пунктуальности выполнения работ модулями как на операциях, так и на этапах в целом. С целью минимизации потерь при сбоях необходимо влиять на изменение значений параметров свойств и состояний элементов системы, то есть управлять системой обслуживания пассажиров. Исследование систем,

основанных на принципах кибернетики, в частности, с помощью выявления прямых и обратных связей, позволяет определить объект и субъект управления и связи между ними, а также внешние и внутренние факторы среды [95].

При формировании системы управления обслуживанием пассажиров использован кибернетический подход, основанный на законе обратной связи (информирование субъекта управления о текущем состоянии объекта); на принципах выбора решения (принятие решения на основе выбора одного из нескольких вариантов [66]); декомпозиции (рассмотрение систем от общего к частному); иерархии управления (многоуровневое управление); автоматического регулирования (саморегулирования, то есть алгоритмах воздействия субъекта управления на объект). Структуру системы управления обслуживанием пассажиров представим в виде кибернетического контура (рис. 2.2) [123].

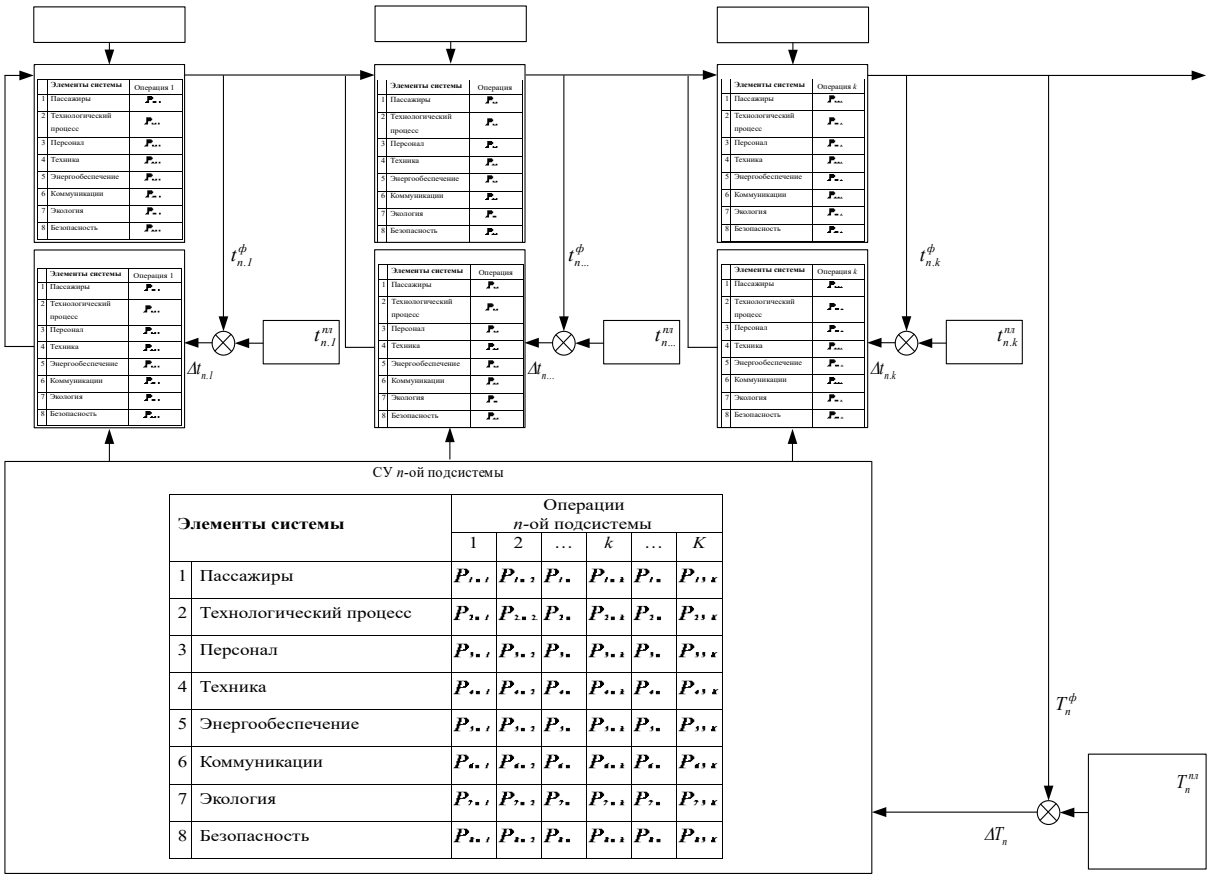


Рисунок 2.2 – Функциональная модель управления обслуживанием пассажиров на n-м этапе

Состав функциональной схемы: планы выполнения работ на *k*-х операциях и на всем *n*-м этапе; ОУ – объект управления (матричные модели операций [13]), организация выполнения работ; СУ – система управления, принимающая решение на *n*-м этапе; ОС – обратная связь, информация о фактическом состоянии параметров элементов на *k*-х операциях и на всем *n*-м этапе; К – контроль и учет отклонения фактического состояния параметров процесса от планового на *k*-х операциях и на всем *n*-м этапе; УВ – управляющее воздействие, разработанное и принятое в СУ решение, направленное на исправление отклонения параметров в матрицах ОУ 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 [122].

С развитием автоматизированных систем управления аэропортовым производством появились системы управления ресурсами (RMS) [112, 131, 132], функциональными возможностями которых являются планирование временных интервалов, составление графиков выполнения работ и расчеты потребностей в ресурсах в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективах [121].

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 [131].

При формировании плана распределения ресурсов с помощью RMS не учитываются взаимовлияющие свойства элементов обслуживающей системы, которые могут спровоцировать возникновение сбойных и нештатных ситуаций. Примерами свойств могут быть интенсивность прибытия пассажиров в аэропорт, пространственные характеристики зон ожидания и обслуживания пассажиров, несовместимость физических свойств пассажиров, персонала и оборудования [131].

Выводы по главе 2

Методология исследования системы управления обслуживанием пассажиров в аэропорту основана на принципах единого методологического подхода, системности, комплексности, пунктуальности, матричной формы систематизации элементов и их параметров, модульности, когнитивности.

В ходе иерархической и функциональной декомпозиции сформированы система обслуживания пассажиров, подсистема и модули, определены элементы, обеспечивающие процесс обслуживания пассажиров и их свойства. Декомпозиция подсистемы обслуживания вылетающих пассажиров представляет собой вариант структуризации по модульному принципу, состоящий из взаимосвязанных и взаимодействующих элементов системы и может быть рассмотрен в качестве структурной единицы – модуля [123].

При формировании ресурсно-временной модели фактического времени выполнения работ по обслуживанию пассажиров учтено влияние факторов внешней (время года, время суток, погода и т. д.) и внутренней среды при взаимодействии элементов между собой.

Использование кибернетического подхода и ресурсно-временной модели фактического времени выполнения работ по обслуживанию пассажиров позволило обосновать направление автоматизации поддержки принятия решения в условиях неопределенности.

3. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТОХАСТИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В АЭРОПОРТУ

3.1. Структура автоматизированной системы поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту

Принципы Индустрии 4.0 определяют сегодня необходимость развития автоматизированных систем управления технологическими процессами в аэропорту, разработанных на базе киберфизических систем [94, 113, 131, 132, 146], состоящих из физических объектов, подсистем мониторинга и управления физическими процессами. В основу киберфизических систем заложены технологии аналитики больших данных, искусственного интеллекта, интернета вещей (показания датчиков и сенсоров обычно попадают в централизованную систему управления производственным процессом), моделирования и симуляторы. Основное назначение автоматизированной системы поддержки принятия решений [60, 87, 88, 98, 102] с использованием нестохастической имитационной модели (АС ППР НИМ) (рис. 3.1) обслуживания пассажиров в аэропорту – выявление нештатных ситуаций (выход за нормативные для плановой ситуации значения, скопления), предупреждение ответственному сотруднику о факте обнаружения, проблемной области, выработке решения и его реализации [18, 91, 133-136, 148].

Структура АС ППР НИМ обслуживания пассажиров в аэропорту позволяет разрабатывать новые алгоритмы процессов принятия решений [74, 145]. Для этого в автоматизированную систему управления технологическими процессами в аэропорту должны быть включены модули:

- Имитационная модель.

Нестохастическая имитационная модель обслуживания пассажиров в аэропорту с использованием матричного подхода, учитывающего свойства элементов модулей и результаты производственного эксперимента. Главной особенностью нестохастической имитационной модели (цифрового двойника) является возможность подключить ее к физическому оригиналу путем передачи данных от множества установленных на нем 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 [19, 124].

- Модули АСУ «Кобра 2» [64].

– Расписание движения ВС (РДС). Модуль предназначен для формирования, планирования и ведения сезонного расписания (зима/лето) на основе согласованных с авиакомпаниями слотов.

– Оперативное управление суточным планом полетов (Интреграл). Модуль предназначен для отображения суточного плана полетов (СПП) в виде таблиц и графических планшетов, оперативной корректировки информации по рейсам, ведения электронных журналов учета происшествий, интеграции с модулями управления ресурсами аэропорта, оперативных предупреждений.

– Центр сообщений для обработки телеграмм (ЦС). Модуль предназначен для автоматической обработки формализованных сообщений согласно ТС-95 и стандартам ИАТА, ЦРТ [39].

– Контроль технологических графиков обслуживания рейсов. Модуль предназначен для составления шаблонов технологических графиков обслуживания (ТГО) по видам рейсов и типам ВС, оперативного контроля выполнения операций, расчета минимального времени обслуживания рейса, визуализации статусов работ исполнителей.

– Аналитическая отчетность (Аналитика). Модуль предназначен для формирования отчетных форм с целью представления в Росстат и внутренних

нужд предприятия, анализа регулярности полетов и результатов работы служб, отчетов об отправлении рейсов, контроля использования слотов, контроля заполнения фактических данных по рейсам, анализа эффективности работы и KPI.

– Планирование и управление терминальными ресурсами (TRMS). Модуль предназначен для ведения справочника терминальных ресурсов (стойки регистрации, выходы на посадку, двери, багажные ленты), нормативов технологического времени обслуживания, моделей прибытия пассажиров, показателей занятости кресел, типа регистрации (общая/одиночная), минимального количества необходимых ресурсов, планирования и распределения терминальных ресурсов по стойкам (с учетом соглашений с авиакомпаниями), оперативного управления в реальном времени.

– Управление динамическими ресурсами (MRMS). Модуль предназначен для ведения базы данных по персоналу и технике, составления графиков работ, учета больничных, отпусков персонала, расчета потребного количества персонала и техники, автоматизированного формирования графиков рабочих смен, автоматизированного распределения работ, расчета и учета производственной нагрузки на персонал, оперативная корректировка назначений в случае изменений СПП.

– Мобильные рабочие места (MPM). Модуль предназначен для автоматизации рабочих мест для персонала, ознакомления с суточным планом выполнения работ, просмотра подробной информации по рейсам, получения предупреждений по рейсу, ввода фактического времени начала и окончания операций.

– Система предотвращения несанкционированного доступа пассажиров в технологические зоны аэропорта и управления пассажиропотоком (Passenger Access Control – PAC), контроля досмотра пассажиров и багажа (КДПБ)). Модули предназначены для автоматической фиксации прохождения пассажиров по этапам обслуживания, возможности учета пассажиров с электронными посадочными талонами, контроля пассажиров-двойников,

отслеживания места нахождения пассажира.

– Программно-аппаратный комплекс контроля параметров технических систем, объединяющий в себе датчики, контроллеры, стереокамеры, системы видеонаблюдения.

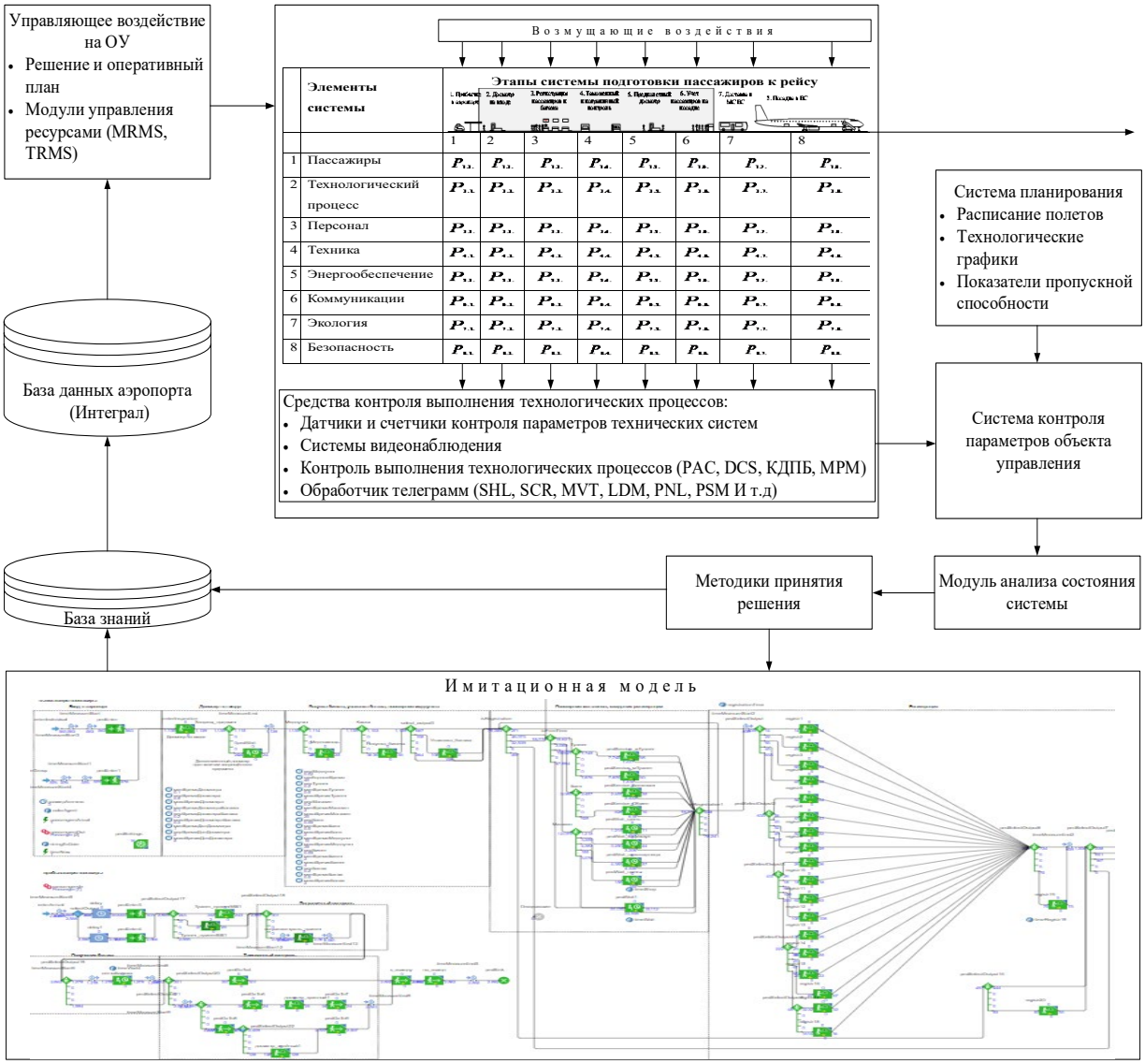


Рисунок 3.1 – Структура АС ППР НИМ обслуживания пассажиров в аэропорту

Имитационные модели целесообразно применять в следующих случаях:

- при описании организационно-технических систем, в которых необходимо учитывать неопределенность влияния факторов различной природы;
- при необходимости наблюдения и оценки моделируемого

процесса;

- при невозможности постановки экспериментов и наблюдения явлений в реальных условиях;
- при необходимости сжатия временной шкалы.

Преимущества имитационного моделирования состоят в возможности учета взаимосвязей, действующих в системе; отображения взаимовлияния элементов системы между собой или со средой (внешней и внутренней) при выполнении работы, а также влияния свойств элементов модуля на свойства среды; выбора критериев оценки эффективности, исходных условий и алгоритмов моделирования [39, 49]. Имитационное моделирование обладает и недостатками: трудоемкость затрат на создание модели; сложность определения чувствительности модели к изменению определенных параметров. Однако, несмотря на указанные недостатки, имитационное моделирование по сравнению с другими методами способно наиболее полно отображать сложные транспортные системы, какими являются системы обслуживания пассажиров в аэровокзале.

Комплекс взаимодействующих подсистем расчета потребного количества ресурсов аэропорта на базе АСУ «КОБРА-2» и имитационной модели обслуживания пассажиров внедрен в АО «РИВЦ-Пулково», о чем свидетельствуют акт внедрения (Приложение 2) и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Система расчета потребного количества ресурсов аэропорта на базе имитационной модели обслуживания пассажиров» (Приложение 3).

3.2. Обоснование средств моделирования и разработка нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту

В настоящее время программное обеспечение средств имитационного моделирования представлено большим выбором систем, предназначенных для разных подходов к имитационному моделированию: дискретно-событийного

(GPSS, AnyLogic, Arena, DELMIA), системной динамики (AnyLogic, Arena, SimBioSys, eMPlant, Plant Simulation, SimuLab, VenSim), агентного (AnyLogic, SimAgent, SimBioSys, AgentSpeak, TeleScript, RePast, NetLogo, Ascape) [69, 162].

Для разработки нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту наиболее подходящей является система, в основе которой лежит объектно-ориентированный подход с возможностью использовать элементы библиотек системной динамики, дискретно-событийной и агентной [46]. В связи с этим система AnyLogic подходит для настоящей работы в том числе и потому, что позволяет использовать язык программирования Java для разработки непредусмотренных в AnyLogic свойств объектов и классов [24, 62, 63, 105].

Построение имитационной модели выполнялось в среде AnyLogic 8 (рис. 3.2), рабочее пространство которой состоит из меню, панели инструментов, графического редактора диаграмм, панели проектов, палитры библиотек (список всех элементов, которые могут быть добавлены на диаграмму), панели свойств (просмотр и изменение свойств выбранного в данный момент элемента модели), панели ошибок [42].

Основные этапы разработки имитационной модели:

1. Разработка технического задания (определение задач моделирования и требований к модели, а также уровня детализации и исходных данных).

2. Сбор исходных данных о рассматриваемой системе, необходимых для разработки и калибрования модели.

3. Выбор среды моделирования необходимой для разработки НИМ.

4. Разработка модели обслуживания пассажиров.

5. Калибрование и проверка, направленные на обеспечение соответствия реальному обслуживанию пассажиров (анализ полученных значений параметров свойств элементов модулей модели, соответствующих параметрам производственного эксперимента).

6. Интеграция имитационной модели с модулями АСУ «Кобра-2».

7. Разработка руководства пользователя, технической и функциональной документации для последующего использования при эксплуатации.

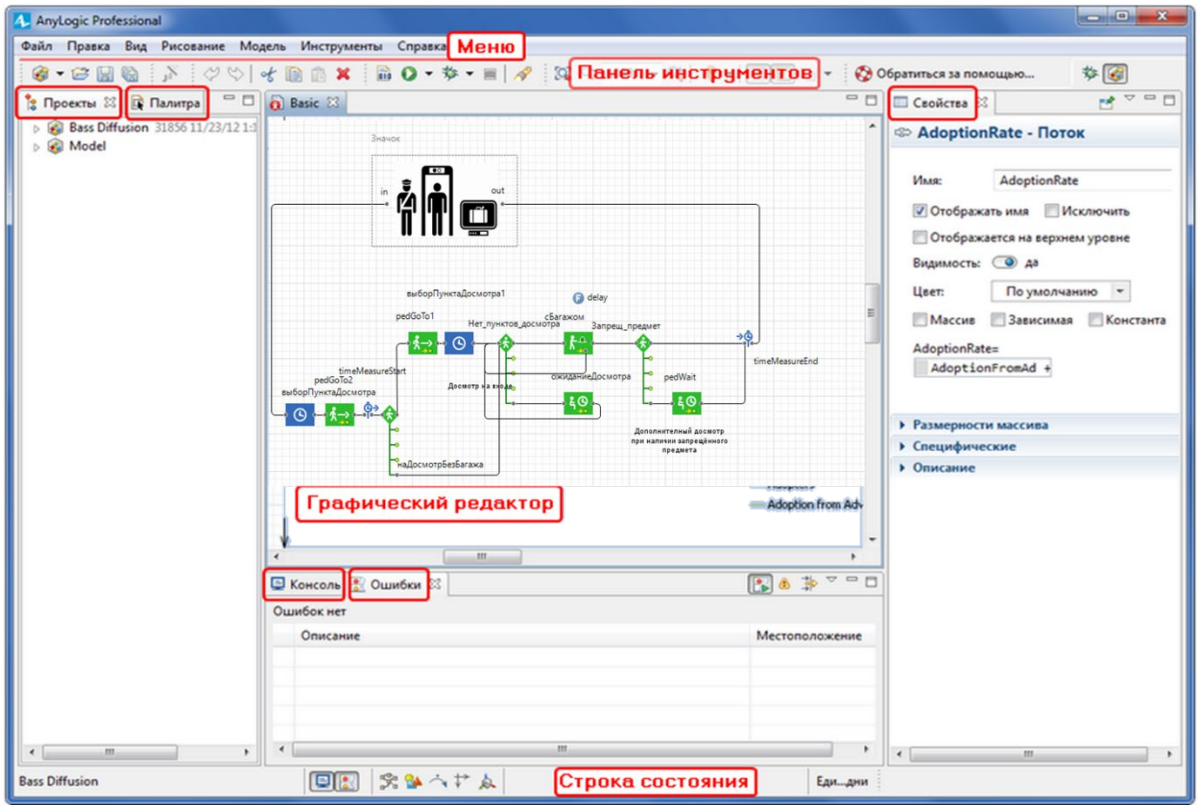


Рисунок 3.2 – Интерфейс среды моделирования AnyLogic 8

Обычно создание моделей пешеходной динамики начинается с добавления плана моделируемого пространства (рис. 3.3) и рисования стен (рис. 3.4), определения маршрутов движения.

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, с целью дальнейшей оптимизации их конфигурации с учетом этапов обслуживания [113, 81, 82].

В моделях Anylogic пассажир передвигается согласно заданным правилам в соответствии с моделью социальных сил. Моделируются

взаимодействие между пассажирами, обслуживающим персоналом, техническими средствами и оборудованием; движение в пространстве исключающее столкновения с окружающими объектами (стены, препятствия, лифты, пандусы, эскалаторы и траволаторы); маршруты движения пассажиров и пункты обслуживания (досмотр на входе, кассы (общие, авиакомпаний), комната матери и ребенка, ритейл (магазины, кафе, рестораны), камера хранения, обмотка багажа, туалеты, оружейная комната, ветконтроль, фитоконтроль, стойки регистрации (МВЛ, ВВЛ), киоски саморегистрации (общие, авиакомпаний), пункт сдачи багажа (крупногабаритного/тяжеловесного/живые животные, детские и инвалидные коляски), комната ожидания для пассажиров с ограниченными возможностями, паспортный контроль предполетного досмотра (ВВЛ, МВЛ), предполетный досмотр (ВВЛ, МВЛ), таможенный контроль, пограничный контроль, магазины беспошлинной торговли, залы ожидания посадки (ВВЛ, МВЛ), залы повышенной комфортности (VIP, бизнес-класс, иные), выходы на посадку (ВВЛ, МВЛ).

Моделирование особенностей передвижения и обслуживания различных категорий (типов) пассажиров осуществляется на основе функциональных блоков схемы модели, диаграмм состояний и параметров агентов, моделирующих соответствующие категории пассажиров (рис. 3.5–3.7).

Моделирование предполагает возможность задания пассажирам индивидуальных свойств, а также использования механизмов создания групп пассажиров. В среде Anylogic свойства пешехода задаются следующими параметрами: начальная скорость, комфортная скорость и занимаемая пешеходом площадь в пространстве, которые могут использоваться для моделирования различных категорий пассажиров с учетом их возрастных и мобильных особенностей, наличия ручной клади и багажа с вероятностью обнаружения запрещенных предметов в них и т.д [113].

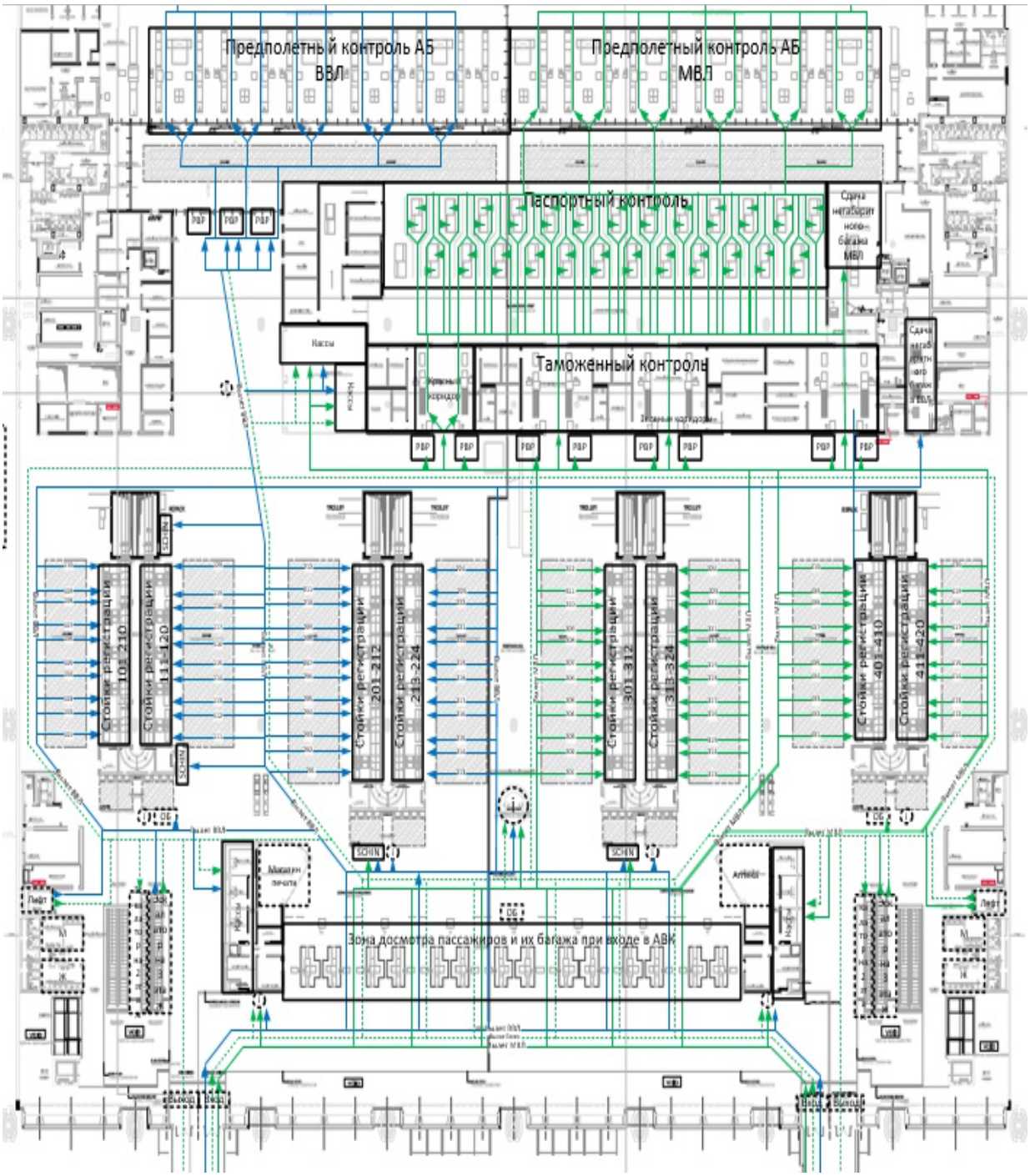


Рисунок 3.3 – План аэровокзального комплекса аэропорта Санкт-Петербург (Пулково) и маршруты движения пассажиров

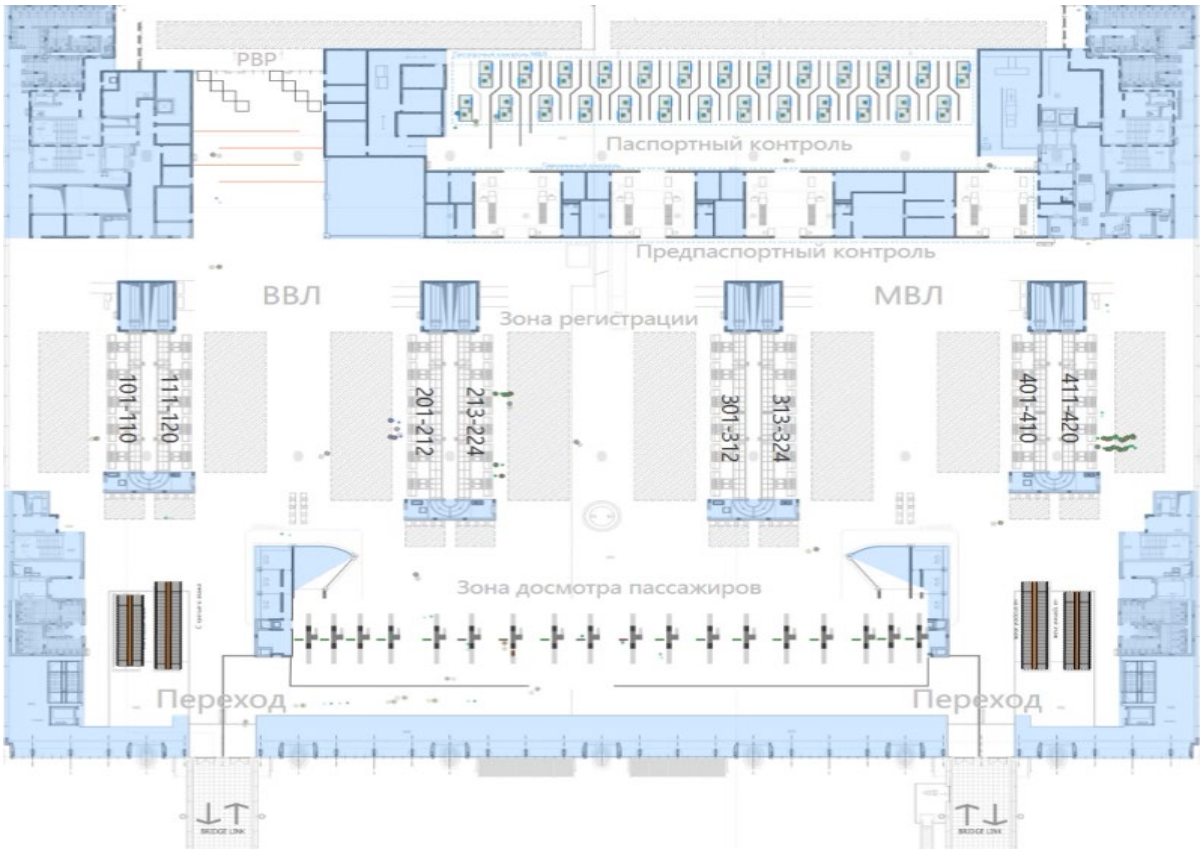


Рисунок 3.4 – Изображение плана аэровокзального комплекса аэропорта Пулково (Санкт-Петербург) в среде AnyLogic 8

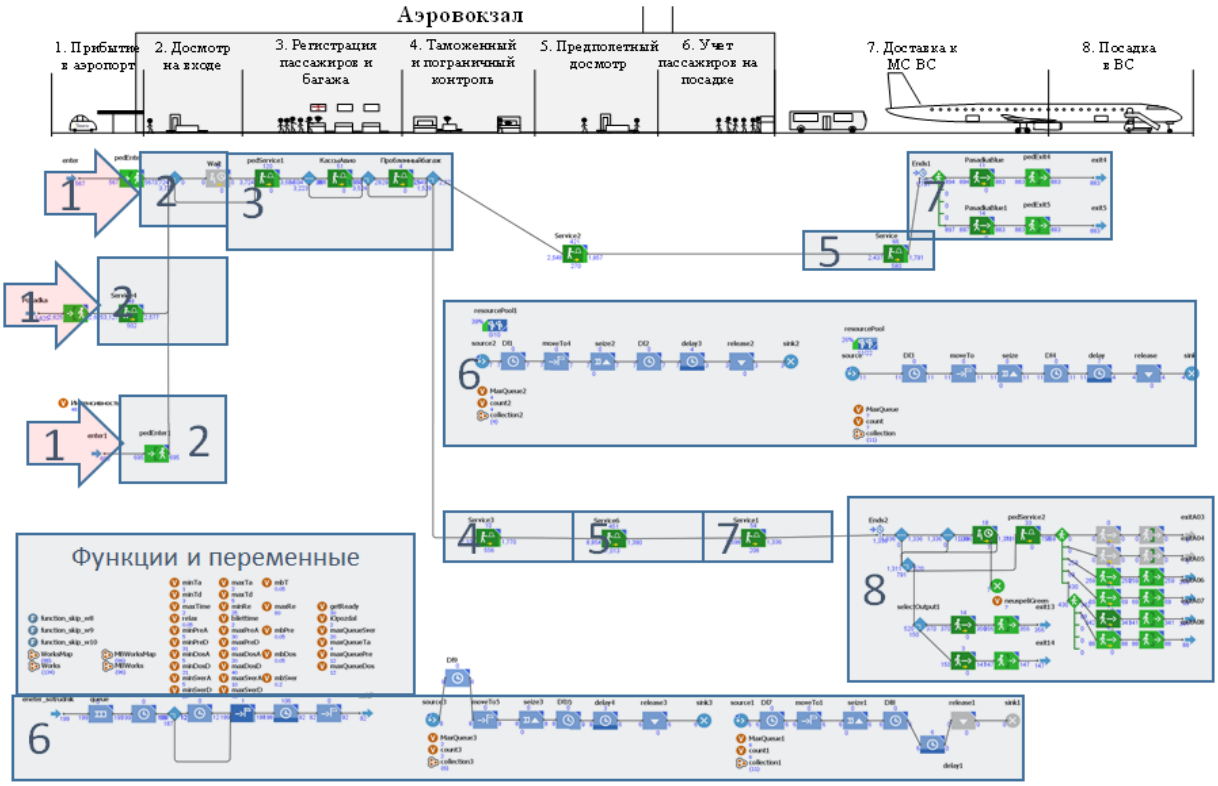


Рисунок 3.5 – Структурно-функциональная схема модели обслуживания пассажиров в Anylogic 8

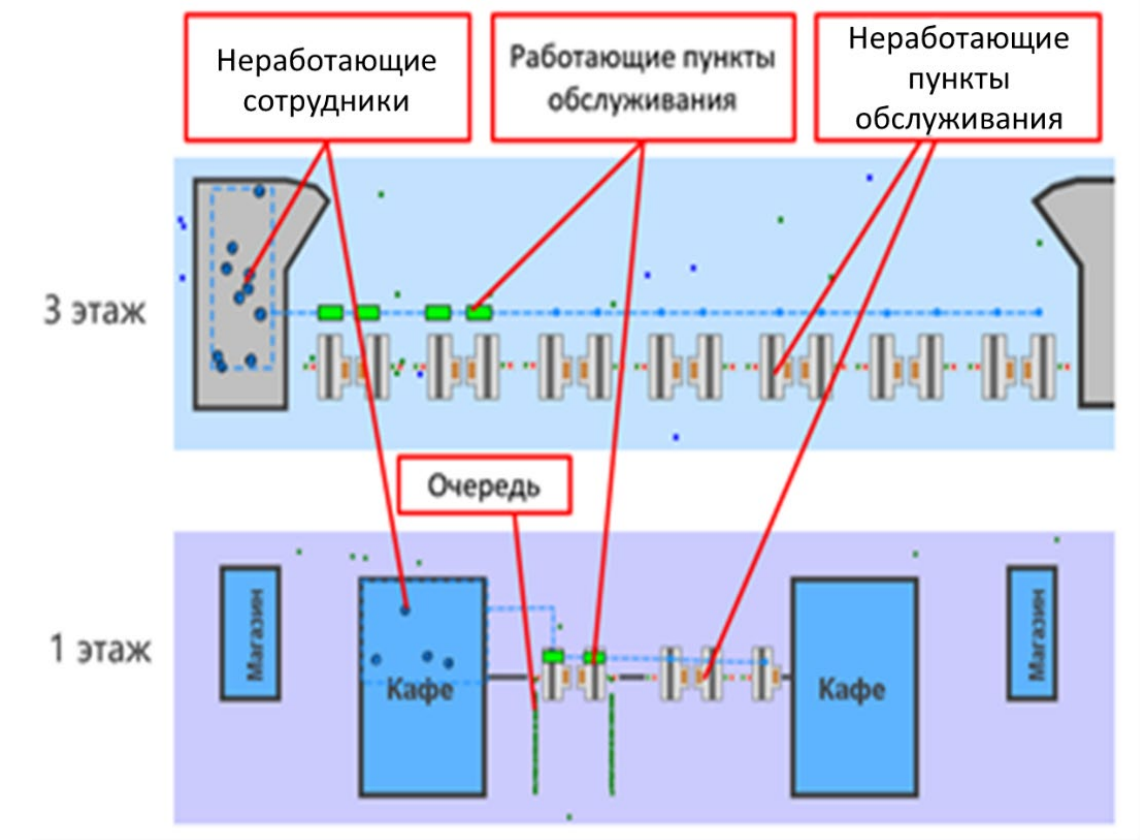


Рисунок 3.6 – Зоны досмотра пассажиров при входе в аэровокзал

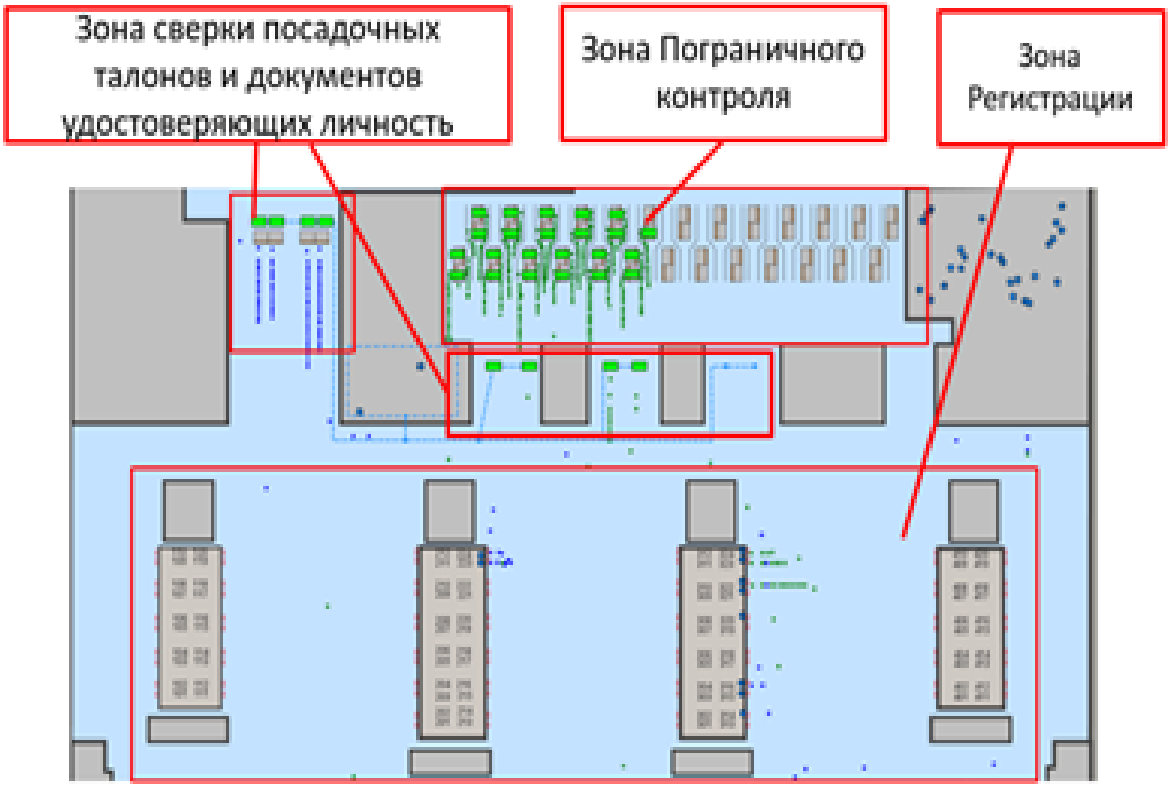


Рисунок 3.7 – Зона регистрации пассажиров и сверка посадочных талонов и документов, удостоверяющих личность

Определенное влияние на обслуживание пассажиропотока оказывает сезонность. Так, например, особенностями аэропорта Санкт-Петербург (Пулково) является наличие рейсов низкобюджетных авиаперевозчиков до ввода санкций Евросоюза, запретивших полеты в Европу; круглогодичного потока пассажиров в страны Средней Азии (Узбекистан, Таджикистан, Киргизия), имеющих большое количество багажа, провожающих и встречающих по сравнению с другими рейсами. В качестве механизма учета таких особенностей обслуживания и перемещения пассажиров предлагается использовать кластерный подход.

Под кластером авиапассажиров далее понимаются пассажиры разных рейсов, обладающие схожими свойствами (признаками), влияющими на особенности их прибытия в аэропорт, перемещения в аэровокзале, сдачи или получения багажа, проверки документов, паспортного и таможенного контроля и других необходимых процедур на этапах обслуживания. С каждым авиарейсом может быть соотнесен один или несколько определенных кластеров. Общий вид UML-диаграммы классов разработанной имитационной модели с использованием предложенного кластерного подхода приведен на рис. 3.8. Суточный план полетов, на основании которого генерируется выборка вылетающих пассажиров, является основой для создания моделирующих их агентов. Поступление данных агентов в модель осуществляется согласно времени прибытия в аэропорт, которое является случайной величиной, функционально зависящей от времени вылета. Схема данных имитационной модели в виде ER-диаграммы приведена на рис. 3.9 [113].

Интерактивное управление имитационной моделью выполняется кнопками управления (вызов окна с информацией об обозначении типов пассажиров, строки прогресса имитационного эксперимента; переключение видов технологических зон), переключателем распределения интенсивности входящего потока, бегунками для регулирования, флажками или переключателями (радиокнопками), а для внесения конкретных значений используются специальные поля для ввода (рис. 3.10) [131, 132].

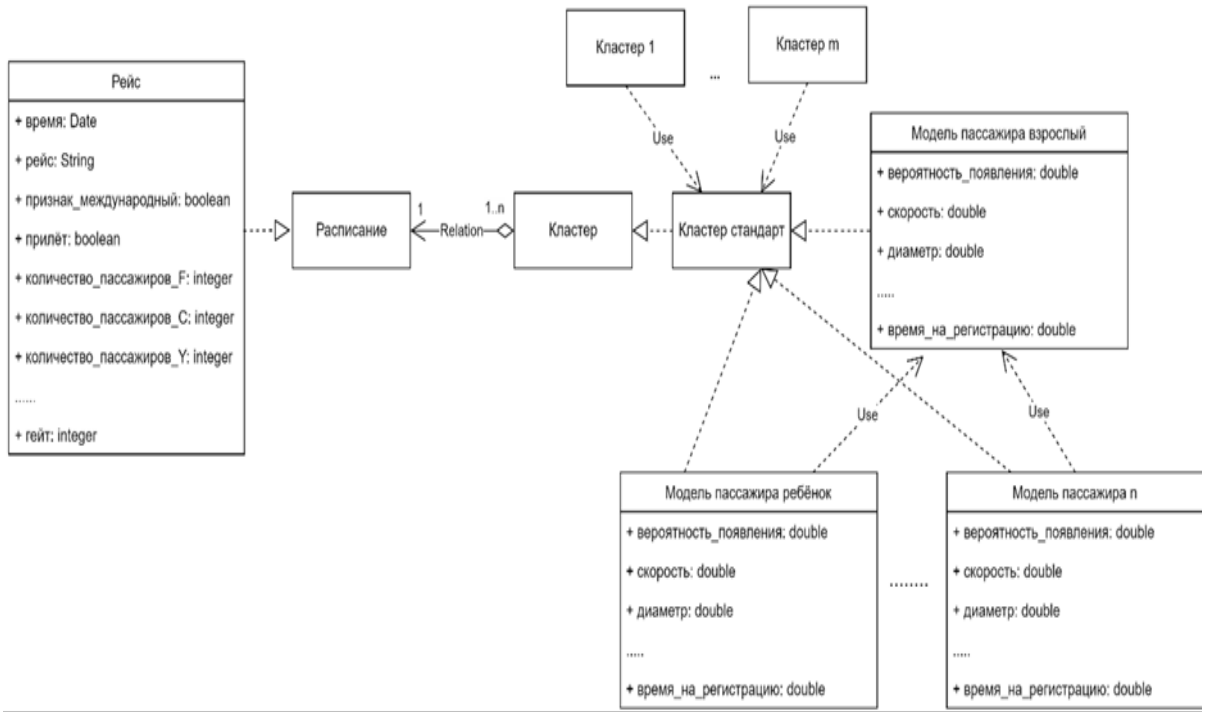


Рисунок 3.8 – UML-диаграмма классов имитационной модели

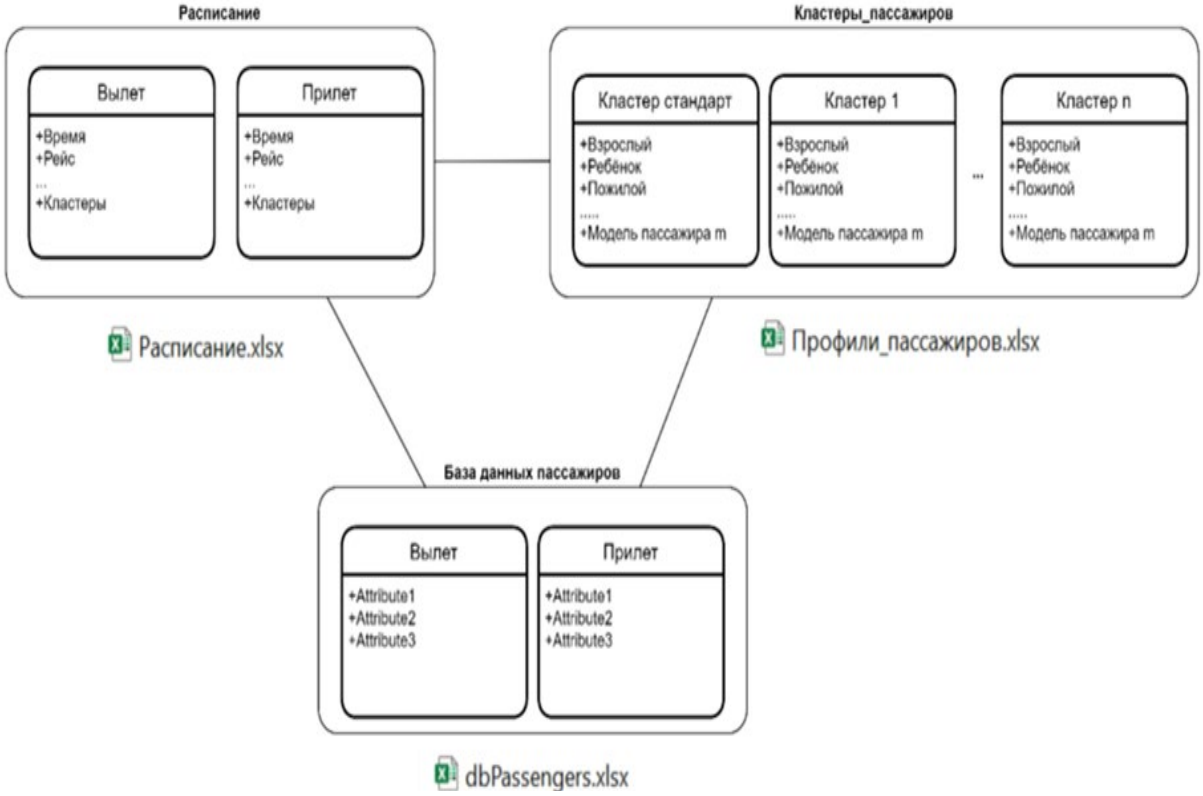


Рисунок 3.9 – ER-диаграмма обобщенной схемы данных имитационной модели

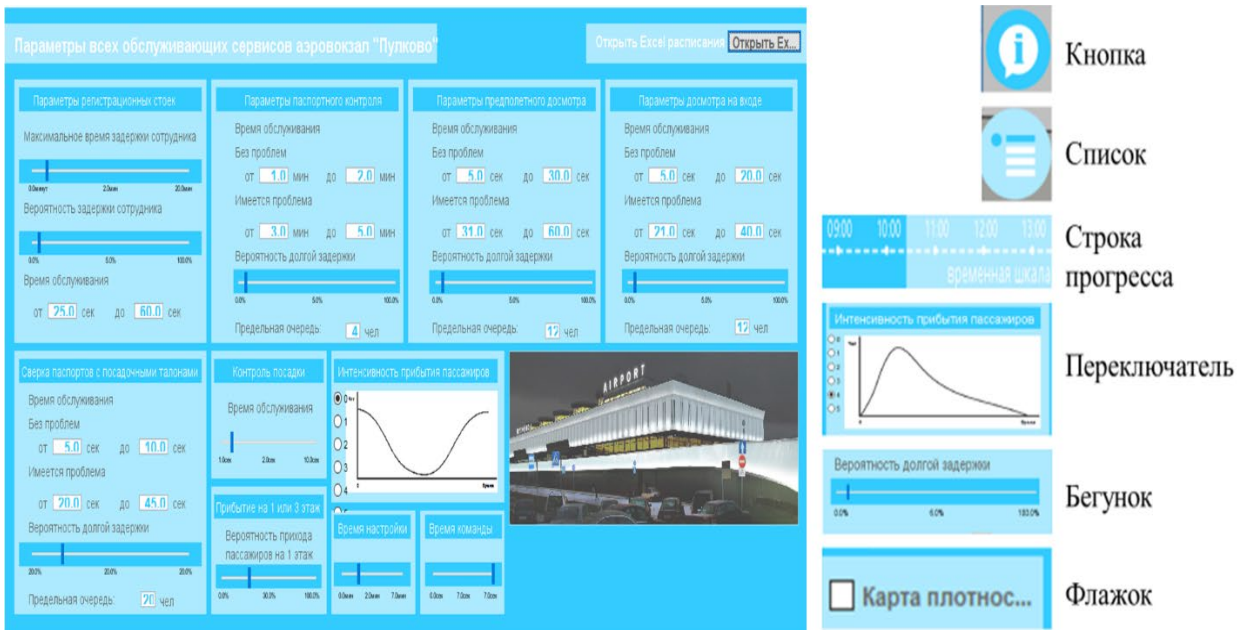


Рисунок 3.10 – Интерфейс интерактивного управления имитационной моделью

Параметры проведения имитационных экспериментов и свойств (признаков) пассажиров, персонала, техники и оборудования вносятся в разработанные формы: редактор кластеров (рис. 3.11) и панель входных параметров имитационного эксперимента (рис. 3.12).

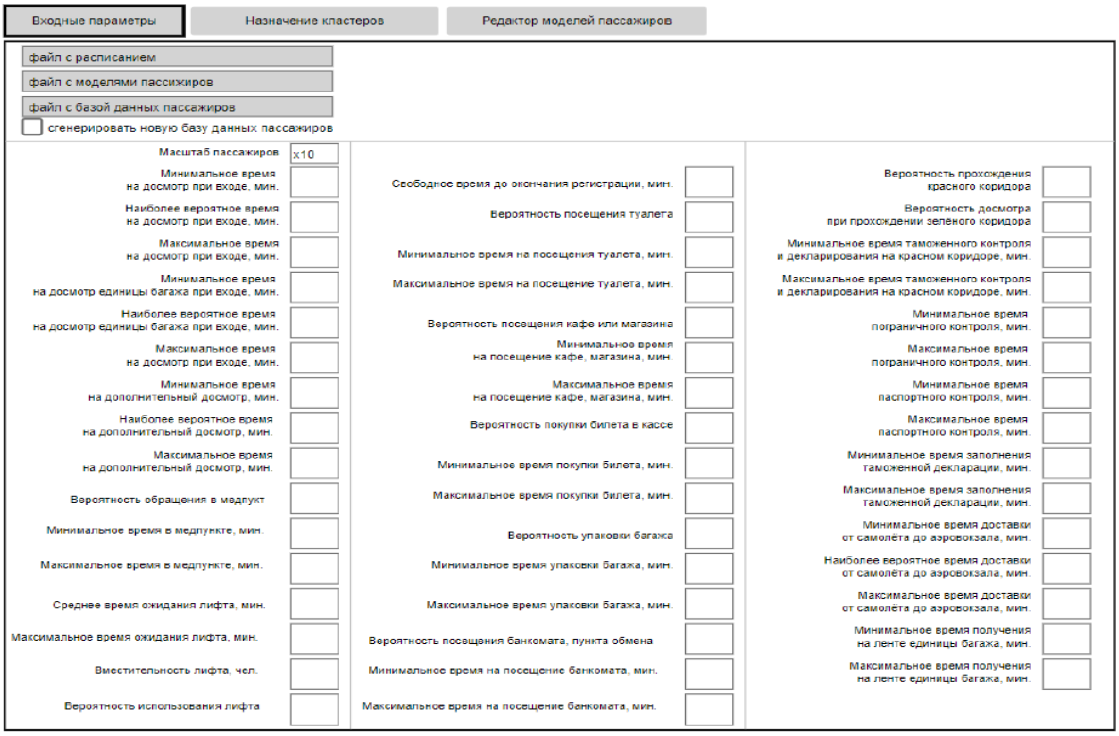


Рисунок 3.11 – Редактор кластеров для внесения свойств элементов системы

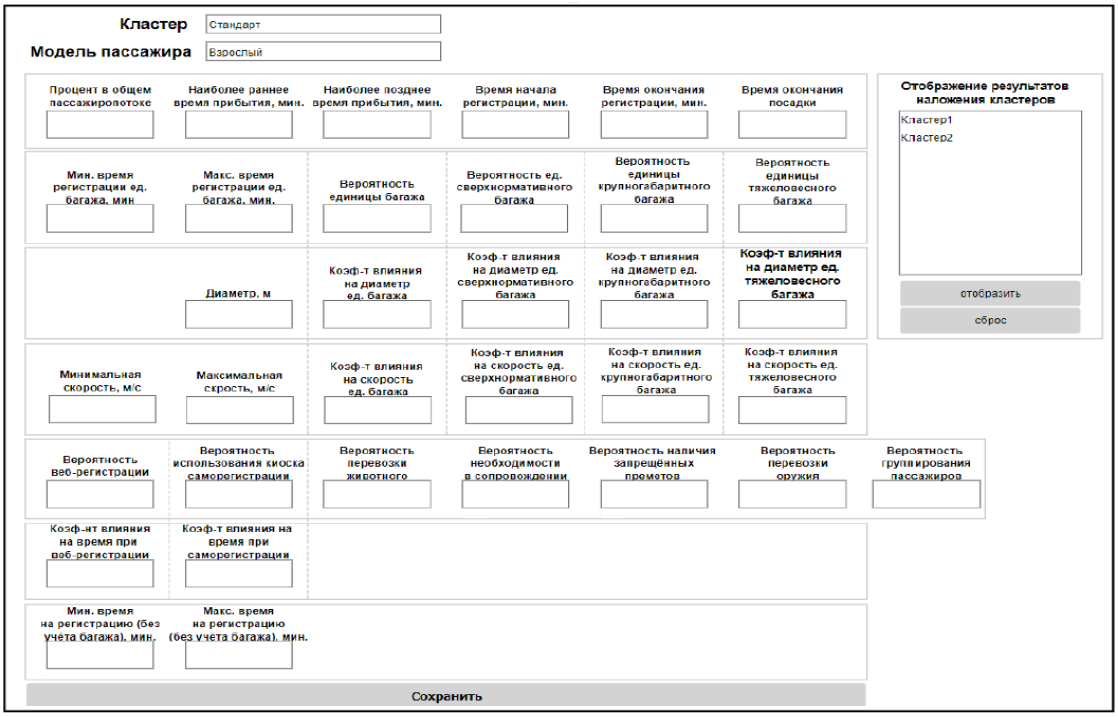


Рисунок 3.12 – Панель входных параметров имитационной модели

При необходимости ввода данных для большого количества входных параметров можно воспользоваться файлом импорта в формате xlsx. После завершения внесения параметров и настройки интерфейса модель готова к проведению имитационного эксперимента.

3.3. Валидация разработанной нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту

Матричный подход позволил построить имитационную модель, близкую к реальному технологическому процессу обслуживания пассажиров. С целью проверки пригодности имитационной модели для использования в системе поддержки принятия решения проведена процедура валидации. Калибровочные эксперименты позволили улучшить модель на очередном шаге итерационной процедуры, уменьшить погрешность имитации и повысить чувствительность соответствующих параметров свойств моделируемых элементов к реальным объектам (обслуживанием пассажиров) и результатами производственного эксперимента. Возможность применения

нестохастической имитационной модели для использования в системе поддержки принятия решения проверена путем проведения серии экспериментов.

Оценку интенсивности входящего потока пассажиров целесообразно проводить на этапе досмотра на входе в аэровокзал, так как он принимает на себя весь входящий поток пассажиров. Значения параметров свойств элементов для сценария эксперимента их соответствия интенсивности входящего потока пассажиров на этапе входного досмотра вносятся в разработанные формы: редактор кластеров для внесения свойств элементов системы и панель входных параметров имитационного эксперимента (табл. 3.1) [113].

Таблица 3.1 – Значения параметров свойств элементов для калибровочного эксперимента на их соответствие интенсивности входящего потока пассажиров на этапе входного досмотра

№ п/п	Наименование параметра	Параметр	Единица измерения	Значение параметра
1	Количество прибывающих в аэровокзал пассажиров	$N_{пасс}$	Пасс	100
2	Наличие багажа	$N_{баг}$	Ед	100
3	Наличие ручной клади	$N_{р/к}$	Ед	100
4	Возраст пассажиров	$N_{пасс}$	Год	1-100
5	Состояние здоровья пассажиров	$N_{пасс}$	Ед	1
6	Минимальное время обслуживания одного пассажира	$T_{мин}$	Сек	От 1 до 40
7	Максимальное время обслуживания одного пассажира	$T_{макс}$	Сек	От 41 до 180
8	Ручной досмотр пассажира	$T_{руч\ б}$	Сек	От 20 до 200
9	Вскрытие багажа пассажира	$T_{баг}$	Сек	От 20 до 200
10	Количество рабочих пунктов	$N_{пунк}$	Ед	1
11	Количество сотрудников	$N_{сотр}$	Чел	3
12	Уровень подготовки сотрудников	$N_{сотр}$	Ед	1
13	Площадь зоны досмотра	$S_{д}$	$м^2$	427,7
14	Интенсивность входящего потока (min, A, max)	$\lambda_{пас}$	Чел/мин	1, 6, 10

В разработанной имитационной модели интенсивность входящего потока пассажиров задана с учетом треугольного закона распределения случайных величин, который позволяет варьировать параметр в заданных границах от минимального (min) до максимального (max) с выбором наиболее вероятного случая (A). Треугольный закон распределения случайных величин выражается формулой [69]:

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{2(x-min)}{(max-min)\,(A-min)} \text{ при } min < x \le A \\ \dfrac{2(max-x)}{(max-min)\,(max-A)} \text{ при } A < x \le max\end{cases}. \quad (3.1)$$

При сравнении интенсивности входящего потока пассажиров, заданной на панели входных параметров имитационной модели (данные производственного эксперимента, учитывающие особенности рейса и времени суток), с потоком калибровочного имитационного эксперимента (рис. 3.13) определено, что имеется чувствительность и количество пассажиров соответствует исходным условиям.

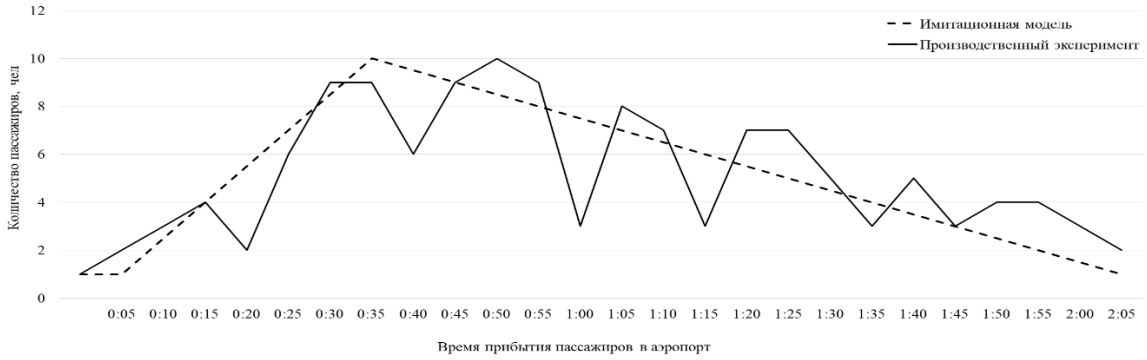


Рисунок 3.13 – Результаты калибровочного эксперимента на соответствие интенсивности входящего потока пассажиров на этапе входного досмотра

Результатом эксперимента при заданных условиях стало большое скопление пассажиров при прохождении досмотра на входе на третьем этаже аэровокзала. На рис. 3.14 красным цветом выделена наибольшая концентрация пассажиров и представлен график распределения количества пассажиров в очереди.

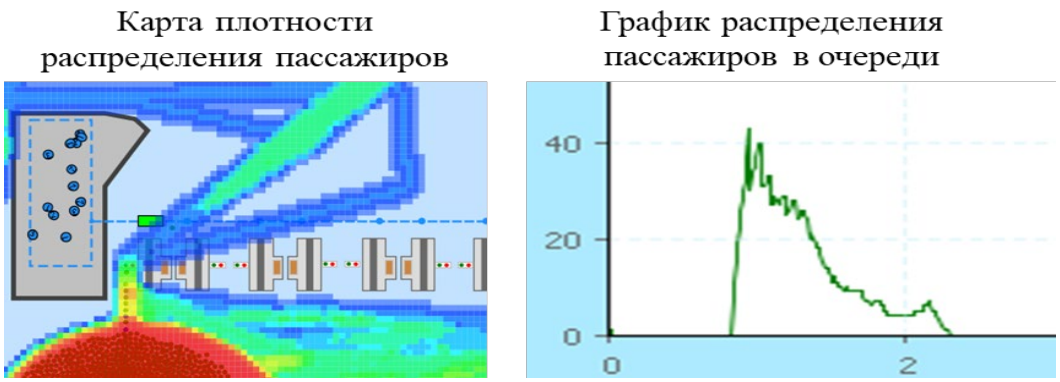


Рисунок 3.14 – Результат калибровочного эксперимента

Для определения адекватности модели сравним полученные результаты с реальными производственными ситуациями, замеченными при проведении производственного эксперимента. При недостаточном количестве рабочих пунктов происходит скопление пассажиров, ожидающих обслуживания, что наблюдается на карте плотности, на графике распределения пассажиров в очереди, а также зафиксировано с помощью фотофиксации подобного случая на производстве (рис. 3.15). На данных рисунках видно, что пассажирские очереди формируются за установленными ограждениями, скапливаясь в центре зала и блокируя движение, как и в модели. Такие ситуации встречаются очень часто в нагруженные периоды работы аэропорта.

Выполнена оценка адекватности модели при изменении интенсивности входящего потока пассажиров с учетом формирования очереди не больше 15 человек. В связи с этим модель автоматически открывает дополнительные пункты, что видно на рисунке 3.16 (фазы 1–6).

Рисунок 3.15 – Ожидание пассажиров на входе в аэровокзал

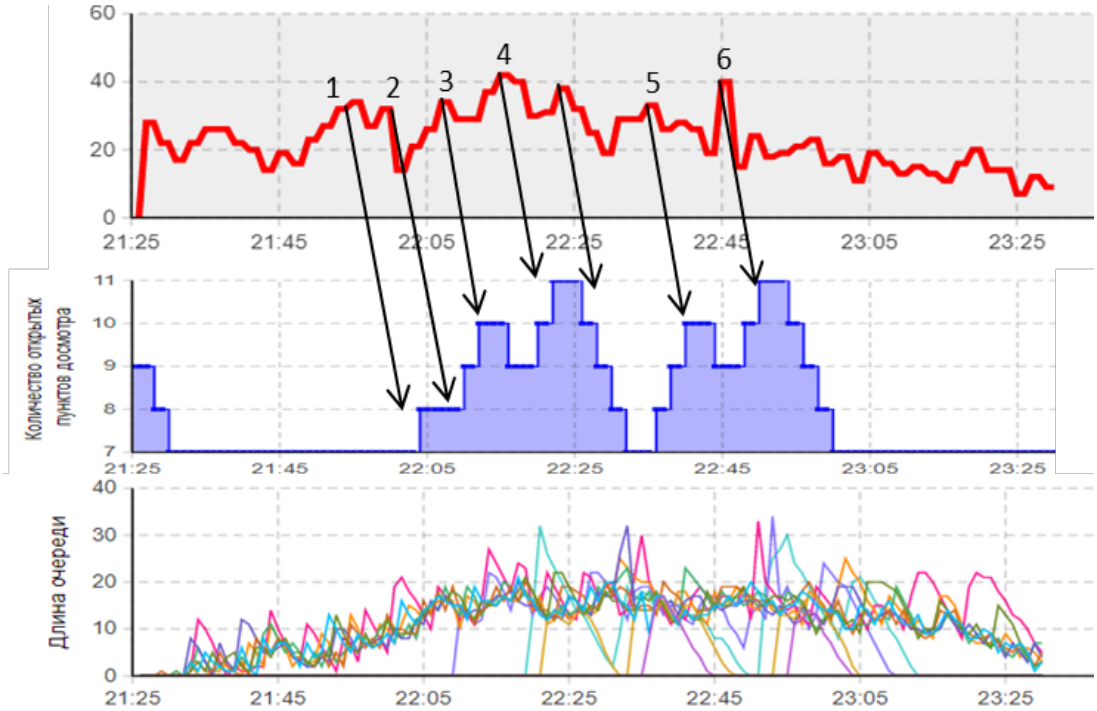


Рисунок 3.16 – Ожидание пассажиров на входе в аэровокзал

При подготовке выводов о сходимости имитационной модели были сформулированы критерии и произведено сравнение с заданными исходными значениями в интерактивных формах и результатами производственного эксперимента. Некоторые из них имели сходимость от 92 % до 98 %: так, например, занимаемая пассажиром площадь меняется в зависимости от наличия и количества мест багажа; модельная скорость передвижения пассажиров с багажом при прохождении этапов соответствует фактической; доля прибытия пассажиров группами меняется согласно заданному значению в интерактивном режиме настройки имитационного эксперимента, то же самое можно сказать о соответствии модельного времени обслуживания пассажиров, количестве обсуживающих пунктов (сотрудников и оборудования) фактическому. Незначительные (в пределах 15 %) отклонения наблюдались при сравнении модельного и фактического количества пассажиров в очереди, ожидающих обслуживания. В связи с заданной вероятностью распределения интенсивности прибытия пассажиров в аэропорт результаты, полученные в имитационной модели, незначительно отличаются от расчетных, что не является критичным и подтверждает достоверность результатов имитационной модели.

Оценка соответствия имитационной модели выполнялась при определении пропускной способности существующих технологических зон аэропорта Санкт-Петербург (Пулково), о чем свидетельствует акт внедрения в АО «Аэропорт Пулково» (Приложение 4).

Выводы по главе 3

Применение имитационного моделирования, основанного на матричной модели структуры системы, 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 решений управления обслуживанием пассажиров.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСТОХАСТИЧЕСКОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ В АЭРОПОРТУ

4.1. Алгоритм поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту

Поддержка принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели обслуживания пассажиров в аэропорту основана на экспертной оценке результатов имитационных экспериментов [66, 67]. Карта плотности и анимационное представление обслуживания пассажиров дают возможность оценить нагруженные участки зон обслуживания, распределение количества пунктов обслуживания в течение наблюдаемого времени, интенсивность входящего потока пассажиров в аэровокзал, ожидание и фактическое время прохождения пассажирами пунктов обслуживания, количество пассажиров в очереди.

Рассмотрим задачу формирования суточного плана обслуживания пассажиров на этапе регистрации с использованием АСУ «Кобра-2» и нестохастической имитационной модели. Формирование суточного плана состоит из последовательных этапов (рис. 4.1) [113, 149, 150]:

1. Выгрузка файла с исходными данными из АСУ «Кобра-2».
2. Подготовка файла исходных данных.
3. Формирование плана распределения ресурсов в АСУ «Кобра-2».
4. Загрузка сформированного плана распределения ресурсов в имитационную модель.
5. Выгрузка из имитационной модели результатов имитационных экспериментов в виде отчетов для ЛПР.

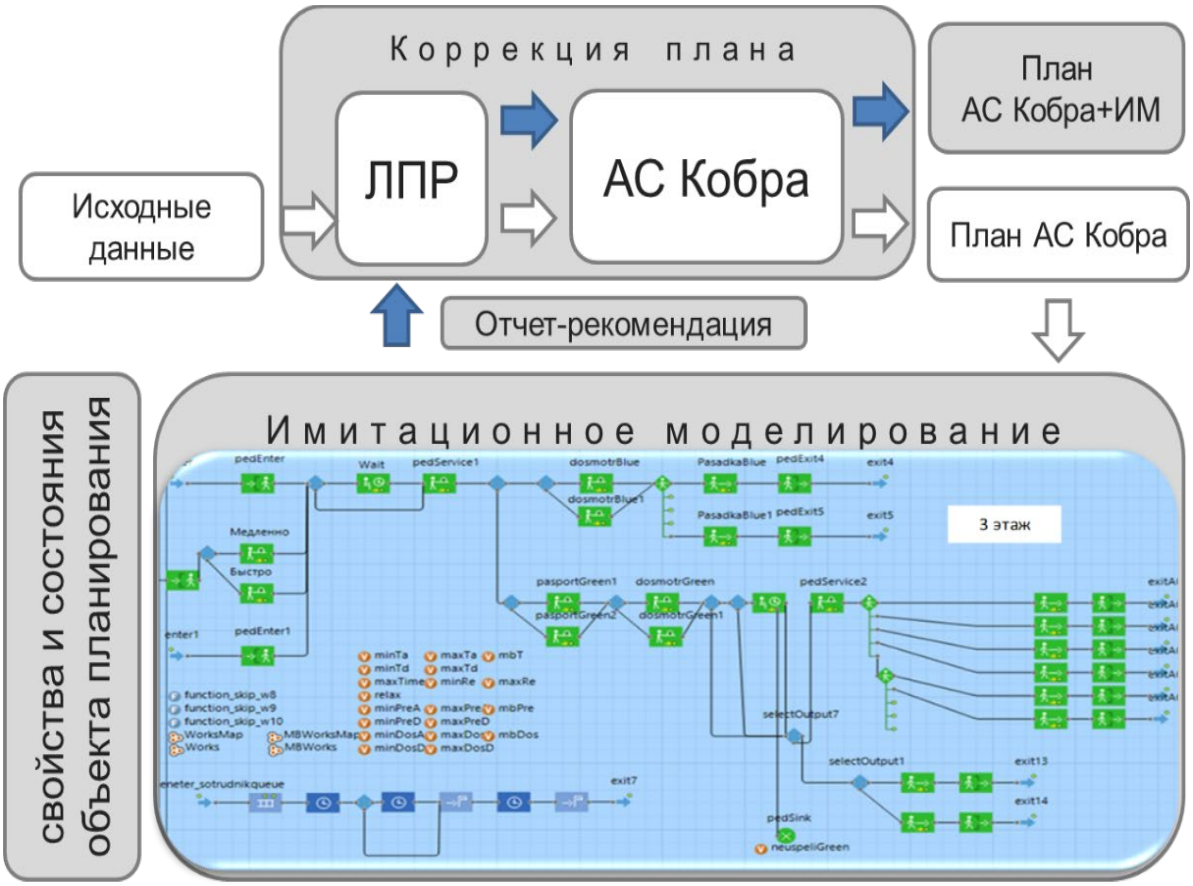


Рисунок 4.1 – Формирование плана обслуживания пассажиров с использованием имитационной модели и АС «Кобра-2»

В основе алгоритма формирования суточного плана обслуживания пассажиров (рис. 4.2–4.3) лежит принятие решений, обоснованных с помощью имитационной модели обслуживания пассажиров и системы управления ресурсами (MRMS, TRMS).

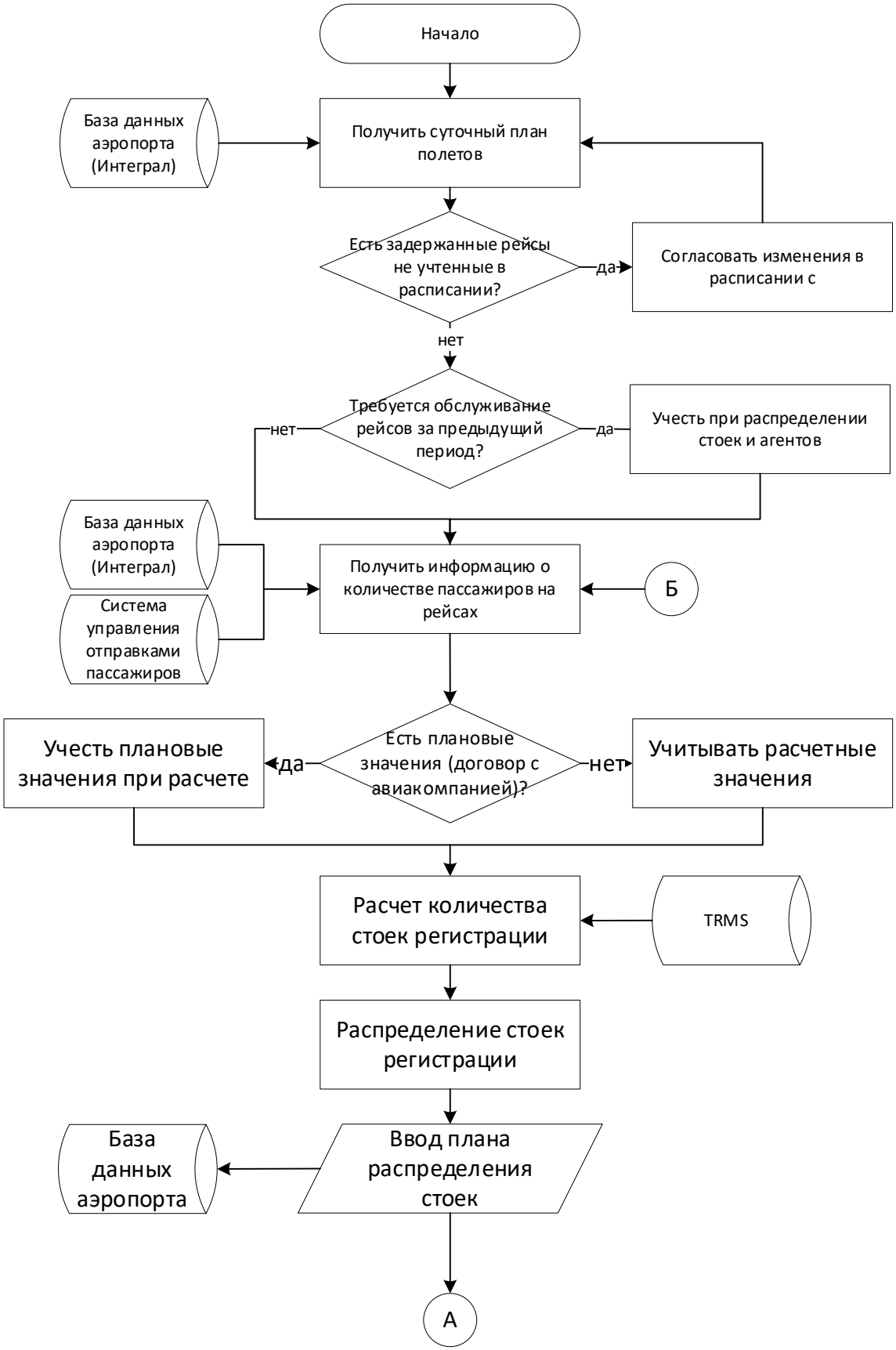


Рисунок 4.2 – Алгоритм формирования суточного плана полетов и планирования стоек регистрации

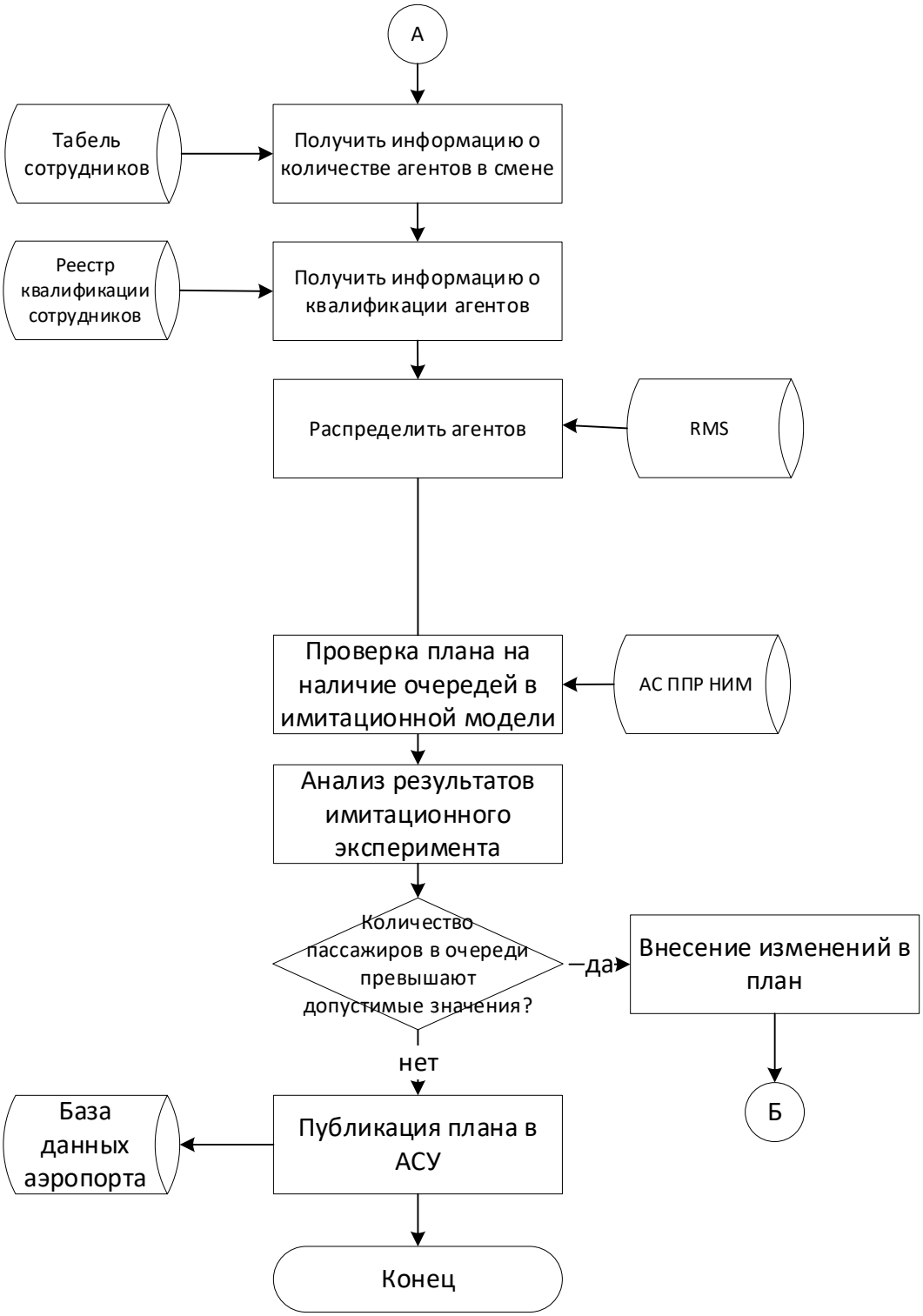


Рисунок 4.3 – Алгоритм планирования агентов по регистрации и проверки сформированного плана с использованием АС ППР НИМ

Алгоритм формирования суточного плана обслуживания пассажиров позволяет заблаговременно выявлять наиболее нагруженные этапы обслуживания пассажиров; определять потребное количество ресурсов

аэропорта для выхода из сбойных ситуаций с учетом свойств персонала, технических средств, пассажиров; определять факторы, влияющие на пропускную способность аэропорта, что подтверждается актом внедрения ООО «Воздушные Ворота Северной Столицы» (Приложение 5).

4.2. Оценка системы поддержки принятия решений с использованием нестохастической имитационной модели при обслуживании пассажиров в аэропорту в условиях неопределенности

Оценка функционирования системы управления процессами обслуживания пассажиров в аэропорту основана на сравнении количественных показателей по результатам деятельности с производственным планом. В настоящее время при выполнении производственного суточного плана с учетом нормативов и факторов, влияющих на фактическое выполнение в реальных условиях, выявляются отклонения, которые влияют на качество предоставляемых услуг. Основными показателями для оценки качества предоставляемых услуг является время ожидания обслуживания и количество пассажиров очереди, зависимые от обеспеченности и расстановки взаимосвязанных и взаимодействующих ресурсов, обеспечивающих процесс обслуживания пассажиров.

Матрица взаимодействия элементов, участвующих при выполнении процессов по обслуживанию пассажиров и дает возможность в результате экспертной оценки определить параметров и их наилучшие сочетания значений, тем самым уменьшить влияние коэффициента изменения времени $K_{nk}^{t^{\phi}}$ и сократить время обслуживания, что способствует повышению оперативности и обоснованности принятия соответствующих управленческих решений в условиях неопределенности [32, 160].

В результате нестохастического имитационного моделирования получены значения времени обслуживания пассажиров, которые меньше относительно результатов производственного эксперимента до 10 % при

досмотре на входе и до 20 % на регистрации.

Разработанная автоматизированная система поддержки принятия решения при управлении [114] обслуживанием пассажиров в аэропорту на базе программного комплекса взаимодействия разработанной, откалиброванной имитационной модели и АСУ «Кобра-2», который определяет, с учетом значений времени, полученных в результате нестохастического моделирования, потребные для выполнения плана ресурсы (количество, распределение) с заданным упреждением, на основе заранее заданных в системе параметров качества, таких как время ожидания и количество пассажиров в очереди). Например, в соответствии с концепцией уровня обслуживания ИАТА время ожидания составляет: приемлемое время ожидание 0 до 10 минут – белый цвет, допустимое от 10 до 20 – оранжевый, чрезмерное от 20 и больше – красный (рис. 4.4) [161].

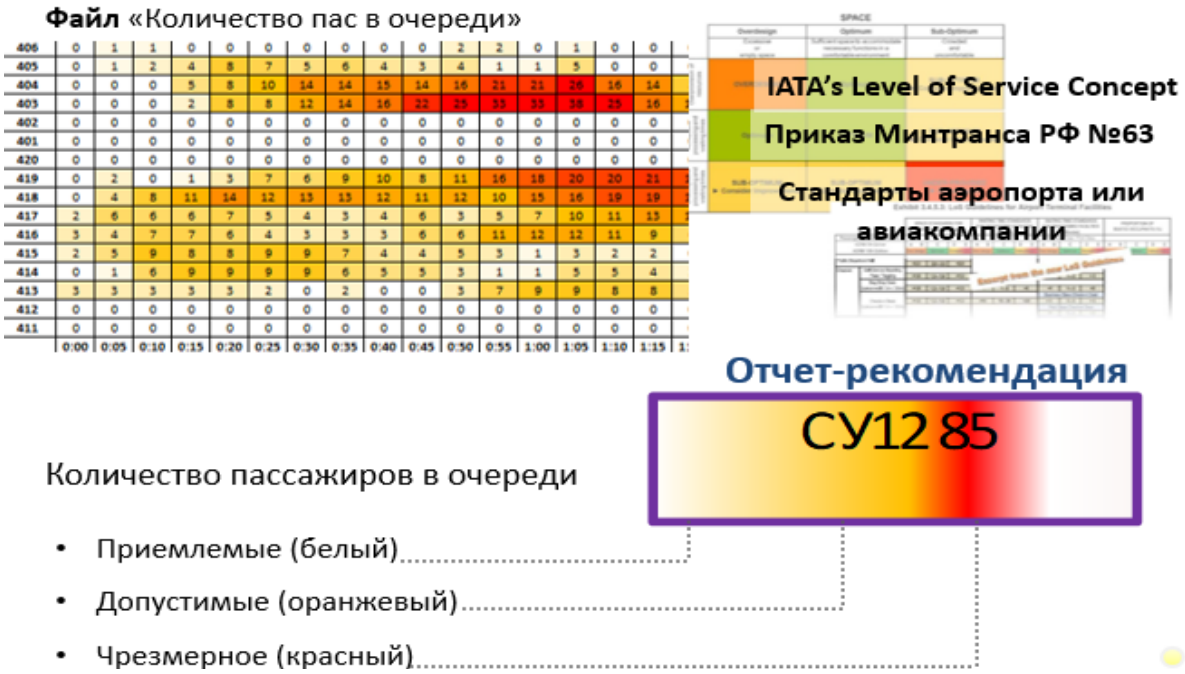


Рисунок 4.4 – Оценка загруженности пунктов обслуживания в соответствии с уровнями обслуживания пассажиров по ИАТА

Расчет и визуализация результатов служит для диспетчеров служб операторов аэропорта основанием для коррекции плана использования ресурсов в рамках процесса ОПУР, автоматизированным комплексом модулей

АСУ «Кобра-2» TRMS и MRMS. Диспетчер корректирует значения параметров, на сновании которых система перераспределяет ресурсы на проблемных этапах обслуживания.

При выполнении облуживания пассажиров в динамически изменяющейся обстановке на основе проверенного плана в ИМ загруженности пунктов обслуживания уменьшает потери времени Δt_{nk} 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 (рис. 4.5). Планируемые к реализации меры могут быть оценены в системе диспетчером с целью проверки их эффективности до или во время их фактической реализации.

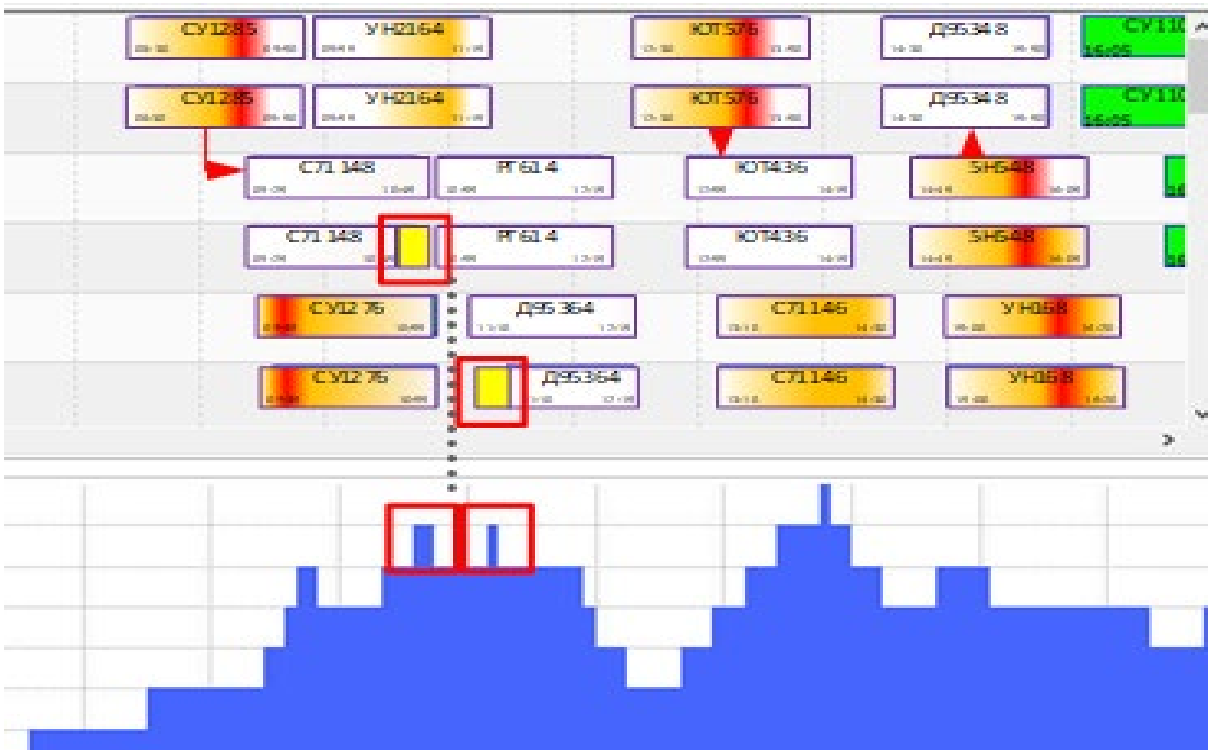


Рисунок 4.5 – Интерфейс АСУ «Кобра-2» диспетчера управляющего выполнением суточного плана обслуживания с индикацией загруженных пунктов

Автоматизированная система и алгоритм поддержки принятия решения позволяют повысить качество формирования плана обслуживания пассажиров

и сократить время его реализации, при условии применения надежных используемых технических средств, организации работы и уровня квалификации персонала [142, 143].

4.3. Концепция автоматизированного тренажерного комплекса для диспетчерского состава наземных служб аэропорта

В связи с постоянно изменяющимися условиями работы транспортных систем, с каждым годом все более усложняющимися технологиями и системами управления, применяемыми в транспортном производстве, многократно возрастает как вероятность совершения ошибок операторами, так и вес этих ошибок. Причиной катастроф и сбойных ситуаций на объектах транспортной инфраструктуры во многом является человеческий фактор. Недостаточный для выполнения постоянно развивающихся технологических процессов уровень подготовки персонала [96], разнообразие условий работы, слабый уровень взаимодействия между диспетчерами структурных подразделений операторов аэропорта; разнообразие свойств персонала, необходимых для выполнения технологических операций в реальных условиях (штатных, нештатных и сбойных) затрудняет поддержание профессиональной готовности персонала.

Разработанный алгоритм принятия решений позволяет определять состояние системы обслуживания пассажиров с учетом динамично меняющейся обстановки, начиная с досмотра при входе в аэровокзал. Использование имитационного моделирования в автоматизированном тренажерном комплексе подготовки диспетчерского состава наземных служб оператора аэропорта (рис. 4.6) может не только ознакомить персонал с штатными режимами работы, но выработать стратегию действий по предотвращению потенциальных нештатных и сбойных ситуаций, помочь диспетчерам отработать действия до автоматизма [21, 26, 77, 90, 113].

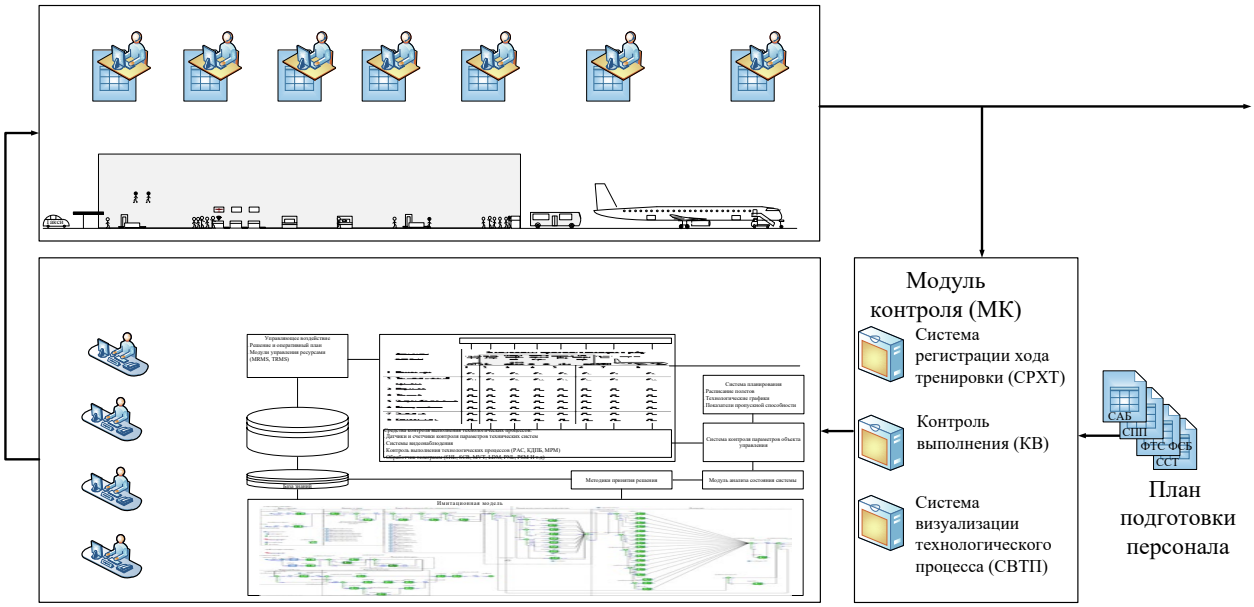


Рисунок 4.6 – Структура системы управления тренажерной подготовкой диспетчерского состава наземных служб оператора аэропорта

Автоматизированный тренажерный комплекс (АТК) подготовки диспетчерского состава наземных служб оператора аэропорта – сложная техническая система [31, 103, 141], включающая в себя следующие компоненты:

- Автоматизированные рабочие места обучаемых (АРМО) и инструкторов обучения (ИО).
- АС ППР НИМ, моделирующую нештатные ситуации с указанием проблемной области, выработки решения и его реализации.
- Планы подготовки обучаемых по освоению компетенций.
- Систему регистрации и оценки хода тренировки (СРХТ) на этапах технологического процесса.
- Систему визуализации технологического процесса (СВТП), воспроизводящую оперативную обстановку, визуализации наблюдения за действиями обучаемых и контроля психофизиологического состояния обучаемого, а также показаний средств информации и положения органов управления.

АТК на базе АС ППР НИМ позволит сотрудникам быстрее освоить

технологическую схему обслуживания пассажиров при взаимодействии элементов обслуживающей системы, осваивать в короткие сроки стандартные процедуры и обучаться действиям в сложных ситуациях.

Периодический тренинг необходим всему персоналу, в том числе и опытным сотрудникам, поскольку на тренажере можно отработать функции планирования и распределения ресурсов для выполнения технологических операций с применением специализированных автоматизированных систем управления или без них на основе суточного плана полетов. Например, такой тренинг полезен диспетчерам, задействованным в процессе оперативного планирования и управления ресурсами (ОПУР), то есть 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 работы [113].

Результаты исследования внедрены в учебном процессе ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А. А. Новикова при подготовке обучающихся:

- по направлению 25.03.04 «Эксплуатация аэропортов и обеспечение полетов воздушных судов» для профиля подготовки «Организация аэропортовой деятельности» – в виде ресурсно-временной модели управления пассажиропотоком в аэропорту в учебно-методическом комплексе дисциплины «Технологические процессы в аэропортах» и алгоритма поддержки принятия решений в системе управления в учебно-методическом комплексе дисциплины «Автоматизированные системы управления производственно-технологическими процессами в аэропорту»;
- по направлению 23.03.01 «Технология транспортных процессов» для профиля подготовки «Организация перевозок и управление на воздушном транспорте» – в виде методических указаний по проведению производственного эксперимента при прохождении производственных

практик в 4-м и 6-м семестрах, а также разработанной в среде моделирования AnyLogic имитационной модели обслуживания пассажиров в учебно-методическом комплексе дисциплины «Имитационное моделирование в аэропортах».

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено соответствующим актом (Приложение 6).

Выводы по главе 4

Процессы обслуживания пассажиров в аэропортах поддаются алгоритмизации и автоматизации, что позволяет быстро и безошибочно планировать процесс и управлять им, оценивать эффективность функционирования системы, а также предоставлять лицу, принимающему решения, возможность обоснованно организовывать работу в различных проблемных ситуациях. Управление системой обслуживания пассажиров в нештатных и сбойных ситуациях связано с планированием, принятие решения на ликвидацию отклонений должно достаточно быстро следовать за получением информации о состоянии системы.

В результате нестохастического имитационного моделирования получены значения времени обслуживания пассажиров, которые меньше относительно результатов производственного эксперимента до 10 % при досмотре на входе и до 20 % на регистрации.

Приоритетной целью взаимодействия служб аэропорта является соблюдение разработанного технологического графика подготовки воздушного судна к вылету, от этого зависят пунктуальность авиарейсов и эффективность деятельности аэропорта. Достижение этой цели определяется слаженностью взаимодействия различных служб аэропорта, которое основано на уровне квалификации и знаний, полученных сотрудниками наземных служб при подготовке, повышении квалификации и аттестации. Реализация и сохранение профессиональной надежности требует поиска новейших путей и

ресурсов подготовки сотрудников наземных служб аэропорта.

Совершенствование компьютерных технологий открыло широчайшие перспективы для улучшения технических средств обучения, особенно тренажеров, воссоздающих деятельность управленческого персонала. Обучающий тренажер, созданный по принципу цифрового двойника, имитирует существующий технологический процесс. Созданный на базе разработанной имитационной модели и АСУ «Кобра-2» тренажер предполагает применение модулей реальной АСУ ТП. Данный подход, в результате необходимого количества повторений производственных ситуаций, позволяет формировать необходимые навыки диспетчеров, отрабатывать оперативные действия в нештатных и сбойных ситуациях по управлению терминальными и динамическими ресурсами аэропорта и мониторингу трансферных стыковок пассажиров. Тренажер, созданный на базе реального программно-технического комплекса, применяемого для создания АСУ ТП – это инструмент практического тестирования и эффективного обучения как студента, так и сотрудника предприятия воздушного транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение эффективности эксплуатации воздушного транспорта при увеличении интенсивности воздушных перевозок, основано на сокращении потерь при выполнении технологических процессов в аэропортах. В связи с постоянно изменяющимися условиями работы транспортных систем, с каждым годом все более усложняющимися технологиями и системами управления, применяемыми в транспортном производстве, многократно возрастает как вероятность совершения ошибок управленческим персоналом, так и вес этих ошибок. Совершенствование методов принятия управленческих решений, средств автоматизации процессов эксплуатации воздушного транспорта и технических систем обучения авиационного персонала позволит решать задачи формирования плана обслуживания пассажиров и сокращать время его реализации. В связи с этим, была поставлена научная задача разработки 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 научной задачи в диссертационной работе были решены частные научные задачи и получены следующие результаты, имеющие научное и практическое значение:

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, позволяющая выявлять критические значения параметров в условиях неопределенности их взаимодействия.

3. Разработана ресурсно-временная модель фактического времени выполнения работ по обслуживанию пассажиров, разработанная на основе

матричной модели, которая в отличие от классических дискретно-событийных моделей систем массового обслуживания учитывает изменения параметров элементов системы.

4. Разработана нестохастическая имитационная модель обслуживания пассажиров в аэропорту, разработанная на основе матричной и ресурсно-временной моделей, позволяющие сократить время ожидания и количество пассажиров в очереди на этапах обслуживания относительно результатов 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 системы управления аэропортовой деятельностью и систем имитационного моделирования; разработке и включении в ее состав 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».

Таким образом, полученные в работе результаты дают основание сделать вывод о том, что цель диссертационного исследования достигнута.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

AHM – Airport Handling Manual;

AODB – airport operational database;

BI – business intelligence;

COVID-19 – коронавирусная инфекция;

CRM – customer relationship management;

ER – entity relatioship;

HR – human resources;

KPI – key performance indicators;

MRMS – mobile resource management system;

PAC – passenger access control;

RMS – resource management system;

SGHA – Standard Ground Handling Agreement;

TRMS – terminal resource management system;

UML – unified modeling language;

VIP – very important person;

АБ – авиационная безопасности;

АвиаТЛС – авиационная транспортно-логистическая система;

АвиаТЛУ – авиационный транспортно-логистический узел;

АО – акционерное общество;

АРМО – автоматизированное рабочее место обучаемых;

АСУ – автоматизированная система управления;

АТК – автоматизированный тренажерный комплекс;

ВВЛ – внутренние воздушные линии;

ВПО – взлетно-посадочная операция;

ВПП – взлетно-посадочная полоса;

ВС – воздушное судно;

ИАТА – Международная ассоциация воздушного транспорта (англ. International Air Transport Association – IATA);

ИКАО – Международная организация гражданской авиации (англ. International Civil Aviation Organization – ICAO);

ИМ – имитационное моделирование;

Индустрия 4.0 – Четвертая промышленная революция;

ИТ – информационные технологии;

КДПБ – контроля досмотра пассажиров и багажа;

ЛПР – лицо принимающее решение;

МВЛ – международные воздушные линии;

МО – массовое обслуживание;

МРМ – мобильное рабочее место;

МС – место стоянки;

НИМ – нестохастическая имитационная модель;

ОПУР – оперативное планирование и управление ресурсами;

ОрВД – организация воздушного движения;

ОТЛС – отраслевая транспортно-логистическая система;

ОТЛУ – отраслевой транспортно-логистический узел;

ППР – процесс принятия решения;

РДС – расписание движения судов;

РИВЦ – региональный информационно-вычислительный центр;

СВТП – система визуализации технологического процесса;

СОП – служба организации перевозок;

СПП – суточный план полетов;

СРХТ – система регистрации хода тренировки;

ТГО – технологический график обслуживания;

ТЛС – транспортно-логистическая система;

ТП – транспортное предприятие.

ТС – транспортное средство;

УВД – управление воздушным движением;

ЦС – центр сообщений;

ЭВМ – электронная вычислительная машина.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздушный кодекс Российской Федерации : [федер. закон: принят Гос. Думой 19.02.1997 г. : по сост. на 01.10.2023 с таблицей изменений]. М.: Проспект, 2023. – 108 с.
2. Методика расчета технической возможности аэропортов и порядка применения методики расчета технической возможности аэропортов : [приказ Минтранса РФ 24.02.2011 г. № 63] [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://base.garant.ru/55171087/.
3. О порядке обеспечения доступа к услугам субъектов естественных монополий в аэропортах : [пост. Правительства РФ от 22 июля 2009 г. № 599] [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://base.garant.ru/12168581.
4. Об утверждении Правил проведения досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра в целях обеспечения транспортной безопасности : [приказ Министерства транспорта РФ от 23 июля 2015 г. № 227 (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://base.garant.ru/71360968.
5. Приказ Минтранса РФ от 25 июля 2007 г. N 104 "Об утверждении Правил проведения предполетного и послеполетного досмотров" (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс] URL: https://base.garant.ru/71360968 (дата обращения: 22.04.2023).
6. Распоряжение Правительства РФ от 21.12.2021 №3744-р «Об утверждении стратегического направления в области ЦТ транспортной отрасли РФ до 2030 г.» [Электронный ресурс] URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403211610 (дата обращения: 01.09.2023).
7. Руководство по аэропортовому обслуживанию (Airport Handling Manual), IATA, 25th edition, January 2005.
8. Руководство по экономике аэропортов. Международная организация гражданской авиации. Документ ИК. Издание 3. 2013.

9. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года : [расп. Правительства РФ от 27 ноября 2021 года № 3363-р] [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://docs.cntd.ru/document/727294161.

10. Федеральные авиационные правила «Общие правила воздушных перевозок пассажиров, багажа, грузов и требования по обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей». Приказ N 82 от 28 июня 2007 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_71492.

11. Федеральные авиационные правила «Требования к операторам аэродромов гражданской авиации. Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие операторов аэродромов гражданской авиации требованиям федеральных авиационных правил». Приказ Министерства транспорта РФ от 25 сентября 2015 г. N 286.

12. Федеральные авиационные правила. Сертификация аэропортов. Утверждены и введены в действие Приказом ФСВТ России от 24 апреля 2000 г. N 98. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_125345/?frame=1#p137.

13. Алибеков Б. И., Мамаев Э.А. Дискретные матричные модели в управлении транспортными системами / Б. И. Алибеков, Э. А. Мамаев // Тр. всерос. науч. пр. конф. «Транспорт 2005» в 2 частях. Ч. 2. РГУПС, Ростов н/ Д, 2005. С. 158-160.

14. Андронов, А. М. Математические методы планирования и управления производственно-хозяйственной деятельностью предприятий гражданской авиации / А. М. Андронов, А. Н. Хижняк. – М.: Транспорт, 1977. – 215с.

15. Андронов, А.М. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник для вузов / Андронов А.М., Копытов Е.А., Гринглаз Л.Я. – СПб.: Питер. – 2004. – 461 с.

16. Афраймович, Л.Г. Эвристические стратегии комбинирования решений трехиндексной аксиальной задача о назначениях / Л.Г. Афраймович,

М.Д. Емелин // Автомат. и телемех., 2021, № 10, 6–12; Autom. Remote Control, 82:10 (2021), 1635–1640.

17. Ашфорд, Н. Проектирование аэропортов / Н. Ашфорд, П.Х. Райт // Пер. с англ. А.П. Степушин. – М.: Транспорт, 1988. – С. 328.

18. Багриновский, К. А. Имитационные системы принятия экономических решений / К.А. Багриновский, Т.И. Конник, М.Р. Ливинсон и др. // М.: Наука, 1989. С. 165.

19. Бай, А. С. Имитационная модель процесса наземного обслуживания воздушных судов в аэропорту / А. С. Бай, В. А. Романенко // Транспортный бизнес и логистика: актуальные аспекты развития : сборник тезисов II Всероссийской научно-практической конференции, Самара, 15–17 февраля 2021 года. – Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 2021. – С. 19-21.

20. Баришполец, В.А. Алгоритмы анализа сетевой модели со стохастической структурой / В.А. Баришполец // Информационные технологии. – М.: РЭНсиТ. – 2012. Т.4. № 2.

21. Безруков, Г. В. Тренажеры для профессиональной подготовки космонавтов [Электронный ресурс] / Г. В. Безруков // 2002. – Режим доступа: http://ru.ecomstation.ru/showarticle.php?id=61.

22. Береславский, Э. Н. Применений марковских процессов при моделировании некоторых систем массового обслуживания: Учебное пособие / Э.Н. Береславский, Г.А. Крыжановский // Университет ГА. СПб., 2009. – 69 с.

23. Боденчук, А. В. Анализ рынка транспортно-логистических услуг России: [Понятие и анализ: транспортно-логистические услуги и рынок транспортно-логистических услуг] / А. В. Боденчук // Вестник транспорта: Научно-практ.журн. – 2016. – № 11. – С. 25-27.

24. Борщёв, А. В. Simulation Modeling with AnyLogic. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.anylogic.ru/blog/novoe-izdanie-knigi-the-big-book-of-simulation-modeling-chast-5.

25. Бочкарев, А. А. Организация материального потока в условиях

цифровой экономики: место и роль технологии цифрового двойника / А. А. Бочкарев. Е. Р. Добронравии // Научное обозрение: теория и практика. - 2020. Т. 10, №9 (77).-С. 1869- 1884.

26. Браже, Р. А. Математическая модель «знания–умения–навыки» (на примере обучения физике в техническом вузе) / Р. А. Браже, А. А. Гришина // Физическое образование в вузах. – 2011. – т.17, № 1.– С. 28-37.

27. Бурков, В. Н. Модели и методы управления организационными системами / В.Н. Бурков, В.А. Ириков // – М.: Наука, 1994. С.270.

28. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. - М.: Наука, 1968. – 356с.

29. Вагнер, Г. Основы исследований операций. - М.: Мир. 1972-1973. Т.1, 335 с.; Т.2, 488 с.; Т.3, 501 с.

30. Васильев, В.И. Моделирование систем гражданской авиации / В.И. Васильев, А.И. Иванюк, В.А. Свириденко. - М.: Транспорт, 1988. – 312 с.

31. Васильевский, А. С. Основные принципы построения тренажеров сложных комплексов управления объектами / А.С. Васильевский, Г. А. Коржавин, П. Б. Антонов // Информационно-управляющие системы, (2). – 2005. С. 55-57.

32. Венделин, А. Г. Подготовка и решение управленческого решения / А.Г Венделин // – М.: Экономика, 1977. С.150.

33. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. / Учебное пособие. М.: «Академия», 2003. – 432 с.

34. Винокуров, Б. И. Наземные сооружения аэропортов: Учеб. Для вузов / Б.И. Винокуров. – М.: Транспорт, 1991. С.392

35. Волкова, Л. П. Управление деятельностью аэропорта Л. П. Волкова. – М.: МГТУ ГА, 2007. – 105 с.

36. Воронин, В.С. Интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте // Железнодорожный транспорт, № 3, 2009. С.40-42.

37. Вьюгин, В. В. О нестохастических объектах / В.В. Вьюгин // Пробл. передачи информ., 21:2 (1985), 3–9. С. 77-83.

38. Головченко, Г. В. Автоматизация производственной и финансово-экономической деятельности предприятий гражданской авиации / Г.В. Головченко, А.В. Губенко, Э. И. Махарев, М.Ю. Смуров // – М.: Студент, 2016. С.349.

39. Головченко, Г. В. Методы ресурсно-временной оптимизации процесса оперативного управления аэропортом в сбойных ситуациях: дис. … канд. техн. наук: 05.22.14 / Г. В. Головченко. - СПб., 2018 – 156 с.

40. Головченко, Г. В., Костин, А.А. Статистический анализ показателей регулярности отправлений воздушных судов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации, 2016, № 4. (13), с.137-146.

41. Голубев, И. С. Исследование операций в гражданской авиации / И.С. Голубев, Р.В. Сакач, Е.Л. Логинов, Е.Г. Пинаев. – М.: Транспорт, 1980. – 256с.

42. Григорьев, И.А. AnyLogic за три дня: практическое пособие по имитационному моделированию / И.А. Григорьев. - Москва: Лань, 2016. - 202 с.

43. Губенко, А. В. Оценка стратегического взаимодействия аэропортовых предприятий и авиакомпаний / А. В. Губенко, А. Р. Панкратова. – СПб.: ООО «Редакционно-издательский центр «КУЛЬТ-ИНФОРМ-ПРЕСС», 2018. – 159 с.

44. Губенко, А. В. Экономика воздушного транспорта: Учебник для вузов / А.В. Губенко, М. Ю. Смуров М.Ю., Д. С. Черкашин – СПб.: Питер, 2009. – 288 с.

45. Добровольская, А. А. Оценка загруженности причалов морского пассажирского порта на основе моделей принятия решений в условиях неопределенности / А. А. Добровольская, Н. Н. Майоров // Логистика: современные тенденции развития : Материалы XXII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06–07 апреля 2023 года. – СПб.: ФГБОУ ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2023. – С. 136-142.

46. Додонов, К. Н. Разработка общей схемы алгоритма имитационного

моделирования процесса наземного обслуживания воздушных судов / К.Н. Додонов, Ю.М. Чинючин // Сборник трудов Всероссийской научно-практической интернет-конференции преподавателей, научных работников и аспирантов Иркутск: ИФ МГТУ ГА, с. 100 - 107.

47. Егоров, Е. С. Методы обоснования решений в условиях поведенческой неопределенности / Е.С. Егоров, С. Н. Воробьев // М.: Изд. МО СССР, 1988.

48. Елисеев, Б. П. Воздушные перевозки / Б. П. Елисеев // М.: Издательско-торговая «Дашков и К», 2014. С. 424.

49. Емельянова, В. В. Имитационное моделирование систем / В. В. Емельянова, С. И. Ясиновский. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 584 с.

50. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. – Изд. 2. − М.: Наука, 1982. – 296 с.

51. Зайцев Е. Н. Методология формирования системы управления пунктуальностью при подготовке воздушного судна к рейсу / Е. Н. Зайцев, Т. В. Зюба, И. Г. Шайдуров, А. В. Юшков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2023. – № 2(39). – С. 48-65.

52. Зайцев Е. Н., Крыжановский Г. А., Сухих Н. Н., Шайдуров И. Г. Обоснование создания экспертных систем поддержки принятия решений менеджера – оператора транспортно-логистической системы. – Проблемы эксплуатации и совершенствования транспортных систем. Межвузовский сборник научных трудов. – СПбГУГА. 2007. №16. с.75-84.

53. Зайцев Е.Н. Синтез комплексной системы управления смешанными перевозками / Университет ГА. СПб., 2007. – 212 с.

54. Зайцев Е.Н., Богданов Е.В., Пестерев Е.В., Шайдуров И.Г. Формирование структуры информационно-логистического центра. Межвузовский тематический сборник научных трудов «Проблемы лётной эксплуатации и безопасность полётов» СПб.: ГУГА, вып.2, 2008. – с. 131-139.

55. Зайцев, Е. Н. Логистика аэропортовых комплексов / Е. Н. Зайцев,

М.А. Королькова, В. Н. Моргунов, В. Е. Чепига, Р. В. Чуев. – СПб.: Университет ГА, 2012. – 143 с.

56. Зайцев, Е. Н. Методология формирования системы управления пунктуальностью при подготовке воздушного судна к рейсу / Е. Н. Зайцев, Т. В. Зюба, И. Г. Шайдуров, А. В. Юшков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2023. – № 2 (39). – С. 48 – 65.

57. Зайцев, Е. Н. Разработка методологии синтеза комплексной системы управления смешанными перевозками с целью повышения эффективности транспортно-логистических систем при неопределенности факторов их взаимодействия : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 05.22.01 / Зайцев Евгений Николаевич. – СПб., 2006. – 46 с.

58. Зайченко Ю. П. Исследование операций: Учеб. пособие для студентов вузов. — 2-е изд., перераб. и доп.—• Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979.

59. Зюба, Т. В. Совершенствование методов оперативного управления техническим обслуживанием воздушных судов на базе сетевых матриц: дис. … канд. техн. наук : 05.22.14 / Зюба Татьяна Владимировна. – СПб., 2002. – 169 с.

60. Искандеров, Ю. М. Технология создания базы знаний для автоматизированной системы управления корпоративной сетью связи морского порта: дис. … д-ра техн. наук : 05.22.13 / Искандеров Юрий Марсович. – СПб., 2005. – 243 с.

61. Канарчук, В. Е. Механизация технологических процессов в аэропортах: Учебник для вузов / В.Е. Канарчук, А.Л. Чигринец // М.: Транспорт, 1986. С. 255.

62. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.

63. Каталевский Д. Ю., Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. М.: Издательство Московского

университета, 2011. 304 с.

64. Кобра: АС «КОБРА» — Автоматизированная система комплексного обслуживания рейсов в аэропорту// РИВЦ-Пулково: офиц. сайт. Режим доступа: https://rivc-pulkovo.ru/productskobra.

65. Козлова, О. В. Хозяйственные ситуации. Практическое пособие / О. В. Козлова, Г. А. Брянский, М. Л. Разу. – М.: Экономика, 1976. – 159 с.

66. Коникова, Е. В. Совершенствование методов принятия решений в интерактивном режиме диспетчером системы комплексного оперативного управления наземным обслуживанием воздушных судов : дис. … канд. техн. наук : 05.22.01 / Коникова Елена Викторовна. – СПб., 2009. – 252 с.

67. Косенко, О. В. Разработка методов и алгоритмов решения многоиндексных распределительных задач в условиях неопределенности : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Косенко Олеся Валентиновна. – Таганрог, 2017. – 22 с

68. Крыжановский, Г. А. Моделирование транспортных процессов: учебное пособие / Г. А. Крыжановский. – СПб.: Университет ГА, 2014. – 262 с.

69. Кузина, С. М. Разработка инструментов планирования процессов подготовки производства на основе имитационного моделирования: дис. … канд. техн. наук : 05.02.22 / Кузина Светлана Михайловна. – М., 2019. – 167 с.

70. Куклев Е. А., Смуров М. Ю., Байрамов А. Б. Моделирование систем и процессов: Методы разработки математических и комбинированных моделей систем и процессов в гражданской авиации: учебное пособие / Под общ. ред. проф. Е.А. Куклева. – СПб.: СПбГУГА, 2015. – 166 с.

71. Куклев, Е. А. Использование минимаксной концепции риска при оценке безопасности транспортных систем / Е. А. Куклев // Актуальные проблемы транспорта. Российская академия транспорта. Санкт-Петербург. СПГУВК. Т.2. 2001. С. 197-206.

72. Куклев, Е. А., Байрамов, А. Б. Имитационное нестохастическое

моделирование технологических процессов в системах технического обслуживания и ремонта авиационных систем / Е. А. Куклев, А. Б. Байрамов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. — 2022. — №4 (37). – С. 140-147.

73. Кюн, Ю. Описательная и индуктивная статистика / Ю. Кюн; пер. с нем. В. С. Дуженко. М.: Финансы и статистика, 1981. 126 с.

74. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений / О. И. Ларичев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Логос, 2002. — 392 с.

75. Лейбкинд, А. В. Моделирование организационных структур / А. Р. Лейбкинд, Б.Л. Рудник. – М.: Наука, 1981. – 143 с.

76. Лисицын, В. С. Автоматизация производственных процессов технической эксплуатации летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов гражданской авиации / В. С. Лисицын, Н. Н. Смирнов, Ю. М. Чинючин. – М.: Транспорт, 1985. – 248 с.

77. Литвинцева, Л. В. Виртуальная реальность - качественно новый шаг в технологии человеко-машинного взаимодействия: концепция и использование / Л. В. Литвинцева // Изв. РАН «Теория и системы управления». – 1995. – №5.

78. Лобанов Н. В. Влияние инфраструктуры аэропорта на регулярность полетов в аэропорту "Пулково" / Фундаментальные научные исследования. - Анапа: 2021. С. 18-24.

79. Лычкина, Н. Н. Имитационные модели в процедурах и системах поддержки принятия стратегических решений на предприятиях / Н. Н. Лычкина // Бизнес-информатика. – 2007. – № 1. С. 29–35.

80. Мадера, А. Г. Риски и шансы: Неопределенность, прогнозирование и оценка / А. Г. Мадера. – М.: Ленанд, 2014. – 448 с.

81. Майоров, Н. Н. Исследование пропускной способности аэровокзального комплекса, операционных процессов и загруженности служб с помощью моделирования / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, В. Е. Таратун // Интеллектуальный пункт пропуска в России и мире: компетентностный

подход к созданию : Сборник докладов Международной практической конференции, Санкт-Петербург, 16–17 февраля 2023 года. – СПб.: СПб ГЭУ "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2023. – С. 110-113.

82. Майоров, Н. Н. Факторы выбора имитационного моделирования, как универсального средства, для исследования транспортных процессов / Н. Н. Майоров // Проблемы и перспективы экономики и управления : Материалы Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 20–23 апреля 2012 года. – СПб.: Реноме, 2012. – С. 224-228.

83. Малыгин, И. Г. Информационные технологии и искусственный интеллект - основные двигатели четвертой индустриальной революции (Industrie 4.0) / И. Г. Малыгин, В. И. Комашинский // Информационные технологии. – 2016. – Т. 22, № 12. – С. 899-904.

84. Малышева, Т. А. Основные понятия, применяемые при оценке задержек авиационных рейсов, и классификация задержек / Т. А. Малышева // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2006. – № 109. – С. 137-140.

85. Малышева, Т. А. Оценка регулярности полетов воздушных судов, выполняемых авиакомпаниями РФ. Научный вестник МГТУ ГА. № 100, 2006. – с. 178-181.

86. Малышева, Т. А. Оценка регулярности полетов воздушных судов, выполняемых авиакомпаниями РФ / Т. А. Малышева // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2006. – № 100. – С. 178-181.

87. Мелихов, А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелихов, Л. С. Берштейн, С.Я. Коровин. – М.: Наука, 1990. – 272 с.

88. Миллер, Р. Перт-система управления / Р. Миллер; пер. с англ. А.А. Аникеича. – М.: Экономика, 1965. – 202 с.

89. Налимов, В. В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука. – 1971. – 201 с.

90. Недзельский, И. И. Морские навигационные тренажеры: проблемы выбора / И.И. Недзельский. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2006. – 220 с.

91. Ольшанский, А. М. О постановке задачи управления пассажиропотоком на вокзале / А. М. Ольшанский // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 20–21 октября 2021 года. – Москва: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта", 2022. – С. 327-331.

92. Остапченко, Ю. Б. Модели и средства подготовки персонала наземных служб гражданской авиации к принятию решений по выходу из нештатных ситуаций с применением комплексной автоматизированной системы : специальность 05.22.14 "Эксплуатация воздушного транспорта" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Остапченко Юрий Борисович. – Санкт-Петербург, 2017. – 22 с.

93. Остапченко, Ю. Б. Проблемы профессиональной подготовки специалистов для эксплуатации сложных технических объектов в современных условиях / Ю. Б. Остапченко, С. А. Кудряков, В. В. Романцев, С. А. Беляев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2014. – №8. – С. 90 – 94.

94. Павловский, М. Г. Модель планирования выхода из нештатной ситуации в детерминированных технологических процессах / М. Г. Павловский, Г. В. Разумовский // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2007. – № 1. – С. 26 – 31.

95. Пантелеев, А.В. Теория управления в примерах и задачах: учеб. пособие / А.В. Пантелеев, А.С. Бортаковский. – Москва: Высш.шк., 2003 – 583 с.

96. Пуликовский, К. Б. Приоритет качеству подготовки, профессиональному обучению и аттестации работников организаций, поднадзорных Ростехнадзору / К. Б. Пуликовский // Безопасность труда в

промышленности. – 2006. – №7. – С. 5 – 7.

97. Пустыльник, Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М.: Наука, 1968. – 288 с.

98. Разумовский, Г. В. Оперативно-календарное планирование в системах поддержки принятия решений / Г. В. Разумовский, М. Г. Павловский, С. А. Беляев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2007. – № 2. – С. 57 – 61.

99. Романенко, В. А. Приближённые модели авиатранспортных систем массового обслуживания с частичной взаимопомощью между обслуживающими каналами / В. А. Романенко // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2022. – Т. 21, № 4. – С. 118-130.

100. Романенко, В. А. Расчет основных параметров пассажирских аэровокзалов / В. А. Романенко // Учеб. пособие. Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2003. 60 с.

101. Романенко, В.А. Имитационная модель технологических процессов наземного обслуживания перевозок в аэропорту / В.А. Романенко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. Выпуск № 1 (17). – 2011. – 79 – 95.

102. Романенко, Д. А. Автоматизированная система выявления нештатных ситуаций в процессах управления сложными техническими системами и поиска решений по их устранению / Д. А. Романенко, С. А. Беляев // Сборник трудов 7-го Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2014. (Москва, 16–19 июня 2014 г.). – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 8612 – 8619.

103. Романенко, Ю. В. Архитектура компьютерного тренажера для обучения и аттестации операторов при управлении технологическими процессами и возникновении нештатных ситуаций / Ю. В. Романенко // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2007. – №2. – С. 70-80.

104. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати. — М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

105. Салмина Н.Ю. Имитационное моделирование: Учебное пособие. - Электрон. текстовые данные. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Эль Контент, 2012. - 90 с.

106. Сирена-Трэвел, Гражданская авиация России восстанавливает объемы перевозок. [Электронный ресурс] // Деловой авиационный портал ATO.ru. – 2020. Режим доступа: http://www.ato.ru/content/grazhdanskaya-aviaciya-rossii-vosstanavlivaet-obemy-perevozok.

107. Соколов, А. А. Стохастические модели обслуживания пассажиров в аэропортах / А. А. Соколов – М.: Грин Принт, 2019. – 264 с.

108. Спесивцев, А. В. Формализация и использование явных и неявных экспертных знаний для оценивания состояния сложных объектов : дис. … канд. техн. наук 05.13.01 / Спесивцев А. В. – СПб., 2019. – 377 с.

109. Спрент, П. Как обращаться с цифрами, или Статистика в действии / П. Спрент; пер. с англ. А. Ф. Якубова. – Мн.: Высшая школа, 1983. – 271с.

110. Староселец, В. Г. Основы теории управления транспортными системами / В. Г. Староселец. – СПб:. СПбГУГА. 2008. – 218с.

111. Стащенюк, В. В. Руководителю о принятии решений — 3. Принятие решений в условиях нестохастического риска / В. В. Стащенюк // Энергобезопасность п энергосбережение. – 2010. – №1 (31). С. 40 – 46.

112. Тецлав, И. А. С. 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.

113. 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.

114. Тецлав, И.А. Информационная система поддержки принятия решений при обслуживании пассажиров в аэровокзале / Е.В. Пестерев, И. А. Тецлав, // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2016. – № 3 (12). С. 121-134.

115. 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.

116. 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.

117. 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.

118. 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.

119. 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.

120. 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.

121. 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.

122. 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.

123. 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 без-опасность полётов» СПб.: СПбГУ ГА, – выпуск X. 2016. – С. 135-154.

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

125. 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.

126. Тецлав, И.А. Методология формирования комплекса взаимодействия систем «Аэропорт-Авиакомпания-УВД» / 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.

127. 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.

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

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

130. Тецлав, И. А. Основы научных исследований: методические указания / Е. Н. Зайцев, Е. В. Коникова, И. А. Тецлав, И. Г. Шайдуров. – СПб.: Университет ГА. – 2016. – 96 с.

131. 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 // Сборник: Технологии построения когнитивных транспортных систем. Материалы всероссийской научно-практической конференции. ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук. – 2018. – С. 42-47.

132. 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 // Сборник: Региональная информатика и информационная безопасность. Сборник трудов межрегиональной

конференции и Санкт-Петербургской международной конференции. 2018. С. 131-136.

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

134. 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.

135. 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.

136. 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.

137. 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.

138. 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.

139. 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.

140. Тецлав, И.А. Проведение эксперимента на производстве по технологии обслуживания пассажиров: Методические указания по прохождению производственной практики / Университет ГА. С.-Петербург, 2019. - 34 с.

141. Файзрахманов, Р. А. Проектирование и разработка тренажерного комплекса оператора портального крана / Р. А. Файзрахманов, А. Ф. Хабибулин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 9. – С. 80-92.

142. Фараонов, А. В. Нечёткое ситуационное моделирование планирования и оперативного управления выбора маршрута доставки / А. В. Фараонов // Менеджмент в России и за рубежом. – 2013. – № 6. – С. 79-86.

143. Фараонов, А. В. Ситуационные центры как инструмент подготовки специалистов транспортной логистики и эффективности принятия решения / А. В. Фараонов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2014. – № 2(7). – С. 48-59.

144. Маслаков, В. П. Хозяйственный механизм авиатранспортных предприятий / В. П. Маслаков, М. Ю. Лебедева, В. Е. Жуков [и др.]. Том ЧАСТЬ II. – СПб.: Питер, 2021. – 384 с.

145. Хорошавцев, Ю. Е. Основы АСУ транспортными системами / Ю.Е.

Хорошавцев / Академия ГА. СПб., – 1999. – 148 с.

146. Цифровая трансформация в эпоху Промышленной революции 4.0. Аэропорт 2.0 [Электронный ресурс]. – 2020. Режим доступа: https://dsl-ua.com/ru/2020/11/30/aeroport-2-0-tsifrova-transformatsiya-v-epohu-promislovoyi-revolyutsiyi-4-0-2.

147. Шайдуров, И. Г. Метод комплексной оценки эффективности технологических процессов грузового терминала авиационного транспортно-логистического узла : специальность 05.22.01 "Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шайдуров Иван Георгиевич, 2021. – 185 с.

148. Шеннон Р., Имитационное моделирование систем: искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

149. Шульгин, В. А. Планирование и управление процессом создания гибких автоматизированных производств / В.А. Шульгин. – Л.: ЛДНТП, 1985. – 32 с.

150. Экало, А. В. Алгоритм принятия обоснованных решений в нештатных ситуациях на основе моделей нечетких множеств / А. В. Экало, С. А. Кудряков, Е. Н. Шаповалов, Ю. Б. Остапченко, С. А. Беляев // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – №9. – С. 16-21.

151. Юдин, Д. Б. Стохастическое программирование / Д. Б. Юдин. – М.: Наука, 1981.

152. Яшкин, А.Р. Организация управления наземными службами аэропортов. Теоретические основы оптимизации функционирования. Учебное пособие / А.Р. Яшкин, А.JI. Павлов. – СПб.: ОЛАГА, 1983 – 75 с.

153. Christopher A. Chung Simulation mP.Modeling handbook: a practical approach / Christopher A. Chung. // – Washington, D.C.: CRC Press LLC, 2004. P. 574.

154. Höppner, F. Fuzzy Cluster Analysis / F. Höppner, F. Klawonn, R. Kruse, T. Runkler. – West Sussex, England.: John Wiley & Sons, 2014. – 288 p.

155. Hutter L., Jaehn F., Neumann S. Influencing factors on airplane boarding times // Omega. 2019. Vol. 87. P. 177-190.

156. Kosenko, O.V. Method of rational placement of intermediate centers with setting parameters in the form of the fuzzy intervals / O.V. Kosenko, E.D. Sinyavskaya., E.A. Shestova, E.Yu. Kosenko, S. O. Antipin // Proceedings XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), 25–27 May 2016. – Pp. 186–189.

157. Kovynyov, I. Digital technologies in airport ground operations / I. Kovynyov, R. Mikut // NETNOMICS: Economic Research and Electronic Networking. 2019. Vol. 20, Iss. 1. P. 1-30. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/sl 1066-019-09132-5 (accessed Apr. 20, 2021).

158. Moeslund T.B., Hilton A., Kruger V. A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis // Computer Vision and Image Understanding. – 2006. – Vol. 104. – P. 90–126.

159. Motzkin, T.S. The multi-index transportation problem / T.S. Motzkin. – Bull. Amer. Mat. Soc., 1952.– v.58.– № 4. – Pp. 161–187.

160. O‘Leary, Daniel L. Enterprise resource planning systems. – Cambridge University Press, 2000. – 232 c

161. Passenger and Airport Data Interchange Standards. EDIFACT implementation guide PNR data pushed to states or other authorities. PNRGOV message. Version 13.1 (subject to approval and publication by the WCO API Contact Committee) [Electronic Resource]/ IATA. 2015. URL: https://www.iata.org/contentassets/18a5fdb2dc144d619a8c10dc1472ae80/pnrgov20edifact20implementation20guide2015_1.pdf.

162. Ross, Sh. M. Simulation. Fourth Edition. Amsterdam: Elsevier, 2006.

Приложение 1

№ 10-С-303-23-108

2 000018 790014

S7 Airlines

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора –
начальник штаба
АО «Авиакомпания «Сибирь»
_____Козин С.В.
«02» 06 2023г.

Акт внедрения

г. Москва 02.06.2023

Настоящим актом подтверждается, что в АО «Авиакомпания «Сибирь» под руководством Тецлава Ильи Александровича внедрены методы исследования обслуживания пассажиров в аэропортах, определяющие время обслуживания и ожидания обслуживания. Внедрение дает возможность выявить несоответствия в обслуживании пассажиров в аэропорту с действующими стандартами качества авиакомпании в области пассажирского опыта.

Руководитель:

Директор по региональному развитию **Р.М. Свистун**

АО «Авиакомпания «Сибирь»
633104, Россия, Новосибирская область, г. Обь,
проспект Мозжерина, дом 10, офис 201
ОГРН: 1025405624430
ИНН: 5448100656
s7@s7.ru
www.s7.ru

Приложение 2

РИВЦ-ПУЛКОВО
АО «РИВЦ-Пулково»
ОГРН 1027804874460 / ИНН 7810207359 / КПП 781001001
196210, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. Муниципальный округ Пулковский меридиан,
ул. Пилотов, д. 24, литера А, помещ. 4-Н
тел: (812) 704-55-76; факс: (812) 704-36-65
e-mail: office@rivc-pulkovo.ru
www.rivc-pulkovo.ru

Утверждаю
Генеральный директор
АО «РИВЦ-Пулково»
_____ В.П. Головченко
08.02.2022

АКТ
ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТЕЦЛАВА ИЛЬИ АЛЕКСАНДРОВИЧА

08.02.2022г. г. Санкт-Петербург

Настоящим актом подтверждается, что в АО «РИВЦ-Пулково» под руководством Тецлава И.А. внедрен комплекс взаимодействующих подсистем расчета потребного количества ресурсов аэропорта на базе АС «КОБРА-2» и имитационной модели обслуживания пассажиров.

Внедрение комплекса взаимодействующих подсистем определения потребного количества ресурсов для бесперебойного работы аэропорта с учетом индивидуальных свойств пассажиров и персонала позволяет сократить время ожидания обслуживания и количество пассажиров в очереди на этапах обслуживания в аэропорту на 14%.

Управляющий директор
АО «РИВЦ-Пулково» _____ Г.В. Головченко

Акционерное общество Региональный Информационно Вычислительный Центр «ПУЛКОВО» Санкт-Петербург

Приложение 3

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020619940

Система расчета потребного количества ресурсов аэропорта на базе имитационной модели обслуживания пассажиров

Правообладатель: ***Акционерное общество "Региональный информационно-вычислительный центр "Пулково" (RU)***

Авторы: ***Головченко Глеб Валентинович (RU), Тецлав Илья Александрович (RU)***

Заявка № **2020619096**

Дата поступления **17 августа 2020 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ ***26 августа 2020 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение 4

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«АЭРОПОРТ «ПУЛКОВО»
(АО «АЭРОПОРТ «ПУЛКОВО»)

ю/а и п/а Стартовая ул., д.17, строение 1, помещ. 548
Санкт-Петербург, Россия, 196210
Телефон (812) 612-05-10. Факс (812) 612-05-09.
http://www.airport-spb.ru
e-mail: office@airport-spb.ru
ОКПО 77737805; ОГРН 1077847061687;
ИНН/КПП 7810091320/781001001

23.05.2022г. № 28-289/22-0
На № _____ _____

Утверждаю

_____

Заместитель генерального директора
по правовым вопросам
АО «Аэропорт «Пулково»
И.В. Степанов
20.05.2022

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

20.05.2022 г. г. Санкт-Петербург

Настоящим актом подтверждается, что в АО «Аэропорт «Пулково» внедрен разработанный Тецлавым И.А. алгоритм принятия решений при управлении обслуживанием пассажиров в аэропорту, учитывающий свойства потока пассажиров и пунктов обслуживания пассажиров, который позволил определить места потенциального скопления пассажиров и факторы, влияющие на пропускную способность аэропорта.

Начальник отдела контроля качества
и развития аэропортовой инфраструктуры
АО «Аэропорт «Пулково» С.Г. Моисеев

Приложение 5

ПУЛКОВО
Аэропорт Санкт-Петербург

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ВОЗДУШНЫЕ ВОРОТА СЕВЕРНОЙ СТОЛИЦЫ»
(ООО «ВОЗДУШНЫЕ ВОРОТА СЕВЕРНОЙ СТОЛИЦЫ»)

УТВЕРЖДАЮ

Директор центра по управлению кризисными и сбойными ситуациями

АКТ

29.05.2023 № 38.00.00.00-06/23/0421 А.И. Шестаков

Санкт-Петербург

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим актом подтверждается, что в аэропорту Санкт-Петербург (Пулково) под руководством Тецлава И.А. внедрен алгоритм принятия решения при управлении обслуживанием пассажиров в сбойных ситуациях позволяющий заблаговременно выявлять наиболее нагруженные этапы обслуживания пассажиров, определения потребного количества ресурсов аэропорта для выхода из сбойных ситуаций с учетом свойств персонала, технических средств и самих пассажиров.

Приложение 6

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А.НОВИКОВА»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
_____ И.М. Хаертдинов
18 апреля 2023г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим актом подтверждается, что в ФГБОУ ВО СПБГУ ГА им. А.А. Новикова внедрены в учебный процесс по направлению подготовки 25.03.04 «Эксплуатация аэропортов и обеспечение полетов воздушных судов» для профиля подготовки «Организация аэропортовой деятельности»: новая ресурсно-временная модель управления пассажиропотоком в аэропорту в учебно-методический комплекс дисциплины «Технологические процесса в аэропортах», алгоритм поддержки принятия решения в системе управления в учебно-методический комплекс дисциплины «Автоматизированные системы управления производственно-технологическими процессами в аэропорту», методические указания по проведению производственного эксперимента при прохождении производственных практик 4 и 6 семестров, по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» для профиля подготовки «Организация перевозок и управление на воздушном транспорте» разработанная в среде моделирования Any Logic имитационная модель обслуживания пассажиров в учебно-методические комплексы дисциплины «Имитационное моделирование в аэропортах».

Заведующий кафедрой №23
«Аэропортов и авиаперевозок» _____ А.В. Губенко