

Федеральное агентство воздушного транспорта
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала
авиации Б.П. Бугаева»

На правах рукописи

Юдаев Вячеслав Владимирович

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА
ОСНОВЕ МЕТОДА КВАЛИМЕТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССОМ ДОСМОТРА БАГАЖА В АЭРОПОРТУ**

Специальность 2.9.6. – Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Гладких Анатолий Афанасьевич

Ульяновск 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	14
1.1 Современное состояние и проблемы обеспечения авиационной безопасности в гражданской авиации России.....	18
1.2 Основные направления деятельности по обеспечению авиационной безопасности в гражданской авиации.....	26
1.3 Системный подход к организации обеспечения авиационной безопасности в аэропорту.....	31
Выводы по главе 1.....	35
ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПУНКТА ДОСМОТРА В АЭРОПОРТУ	38
2.1 Система управления авиационной безопасностью аэропорта и организация процесса досмотра в аэропорту	38
2.2 Принципы моделирования динамических процессов	47
2.3 Обоснование возможностей и особенности применения аппарата сетей Петри для моделирования технологического процесса досмотра в аэропорту.....	51
2.4 Моделирование процесса предполетного досмотра с помощью аппарата сетей Петри	55
2.5 Моделирование процесса досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки с помощью аппарата сетей Петри	62
2.6 Имитационная модель процесса предполетного досмотра в программной среде CPN Tools.....	70
2.7 Исследование процесса досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки с помощью имитационной модели в программной среде CPN Tools...	73
Выводы по главе 2.....	81

ГЛАВА 3 КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРОЦЕССОМ ДОСМОТРА БАГАЖА В АЭРОПОРТУ	84
3.1 Обоснование нормативных требований безопасности к системе предполетного досмотра в аэропорту	84
3.2 Оценка уровня авиационной безопасности воздушных перевозок в аэропорту.....	90
3.3 Концепция и методика квалиметрического управления процессом досмотра багажа в системе управления авиационной безопасностью аэропорта..	98
3.4 Анализ валидности разработанной методики	103
ГЛАВА 4 ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ АЭРОПОРТА	107
4.1 Человеческий фактор как важнейший элемент эргатической авиационной транспортной системы	107
4.2 Человеческий фактор в реализации квалиметрического метода управления авиационной безопасностью, оценки профессиональной компетентности и дополнительной подготовки персонала службы авиационной безопасности.....	114
4.3 Перспективы применения нейросетевых технологий на базе распознавания образов в системе квалиметрического управления процессом обработки багажа.....	118
Выводы по главе 4.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Пример таблицы распределения пропусков, имитирующих запрещенные к перевозке предметы (вещества), «закладок» в проверяемой партии багажа по уровням досмотра ($N_B=500$; $a_{1-2}=0,1$; $a_{2-3}=0,1$; $n_3=50$)	143

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Акт об использовании научных результатов диссертационной работы в АО «МАШ».....	146
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Акт об использовании научных результатов диссертационной работы в ФГБОУ ВО УИ ГА.....	147

ВВЕДЕНИЕ

Гарантированное обеспечение национальной безопасности – важнейшая задача, стоящая перед любым государством. От ее решения напрямую зависят суверенитет и его территориальная целостность, обеспечивается устойчивое развитие и само существование государства [91].

«Национальная безопасность» – состояние защищенности личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз, при котором обеспечиваются реализация конституционных прав и свобод граждан Российской Федерации, достойные качество и уровень их жизни, суверенитет, независимость, государственная и территориальная целостность, устойчивое социально-экономическое развитие Российской Федерации. Национальная безопасность включает в себя оборону страны и все виды безопасности, предусмотренные Конституцией Российской Федерации и законодательством Российской Федерации, прежде всего государственную, общественную, информационную, экологическую, экономическую, транспортную, энергетическую безопасность, безопасность личности [9, 84, 88].

В современных условиях значение понятия «обеспечение национальной безопасности государства» заметно возросло. Это объясняется целым рядом факторов, важнейшими из которых являются: обострение международной обстановки, связанное с проведением специальной военной операции (СВО) на Украине, в Сирии, в КНДР, в Иране; наличие в мире средств массового уничтожения людей; существование и возросшая активность транснациональных экстремистских террористических организаций; растущий оборот наркотиков и т.п. Вследствие этого, руководство страны постоянно уделяет должное внимание вопросам комплексного решения проблем обеспечения безопасности нашего государства.

При этом, одним из основных принципов обеспечения безопасности является приоритет предупредительных мер в целях обеспечения безопасности [92].

Безопасность в транспортной сфере страны является важнейшей составной частью национальной безопасности государства. При этом обеспечение безопасности на транспорте является сложной комплексной проблемой, охватывающей взаимосвязанные нормативно-правовые, организационные, экономические, научно-методические и научно-технические составляющие [30, 49, 62, 103].

Обеспечение безопасности перевозок на воздушном транспорте, который является важнейшим элементом транспортной системы страны, динамично развивается и совершенствуется, требует постоянного внимания со стороны государства.

Актуальность темы исследования.

Надежная защита гражданской авиации от актов незаконного вмешательства (АНВ) в ее деятельность являлась одной из приоритетных задач, стоящих перед государством на всех этапах ее развития. Особую актуальность данная задача приобретает в настоящее время, в условиях возросшей активности противоправной деятельности некоторых, запрещенных в России террористических организаций и вероятных деструктивных действий диверсионно-разведывательных групп в условиях проведения СВО. События последних лет свидетельствуют о тщательном планировании и подготовке террористических актов преступными организациями, располагающими большими финансовыми ресурсами. Это дает им возможность оснащать своих боевиков новейшими техническими средствами нападения, проводить их обучение, внедрять в практику своих действий новые методы проведения террористических акций.

Все это требует постоянного совершенствования методов и средств защиты всего процесса перевозок (пассажиров и грузов) на воздушном транспорте.

Актуальность защиты гражданской авиации от незаконного вмешательства в ее деятельность, в настоящее время, не только не снижается, а наоборот растет. Это связано с возрастанием угроз террористической направленности, особенно в отношении объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) и воздушных судов

(ВС) гражданской авиации. Террористические организации считают наиболее привлекательными объектами для осуществления своих акций ВС, это связано с тем, что:

- любой АНВ на борту ВС порождает в обществе масштабный резонанс;
- требуется минимальное количество сил и средств (людей, оружия, боеприпасов, взрывчатых веществ) для осуществления акции по захвату и/или уничтожению ВС;
- возможно использовать в качестве мощного оружия для нападения на стратегические объекты государства захваченное и угнанное ВС.

Анализ существующих методов и средств обеспечения безопасности процесса воздушных перевозок выявил имеющиеся противоречия практического и научного характеров.

Противоречие практического характера заключается в том, что с ежегодным ростом объёмов пассажирских воздушных перевозок, проводимые превентивные мероприятия по обеспечению АБ не в полной мере своевременно и эффективно обеспечивают их безопасность, на что указывает не снижающееся число АНВ.

Противоречие научного характера обусловлено тем, что для повышения безопасности воздушных перевозок и снижения числа АНВ отсутствуют научно-обоснованные методики количественной оценки в реальном времени качества проведения досмотра в системе управления авиационной безопасностью аэропорта.

В данной работе автором решается научно-техническая задача по разработке метода управления процессом досмотра багажа на основе аналитического моделирования с использованием математического аппарата сетей Петри, обеспечивающего максимальную его эффективность при заданных параметрах и характеристиках применяемого досмотрового оборудования и соответствующей квалификации персонала аэропорта.

Степень разработанности темы исследования.

В изучение проблем, связанных с вопросами обеспечения безопасности воздушных перевозок, значительный вклад внесли: С.В. Гиаченов, В.С. Шапкин,

Е.А. Куклев, а также ряд зарубежных ученых: А. Shwaninger, М. Stefan, А.Т. Biggs.

Важная роль в решении проблем, связанных с вопросами оценивания АБ на основе методологии исчисления рисков, принадлежит Г.Н. Гипич, В.Г. Евдокимову, Б.В. Зубкову, С.Е. Прозорову, и зарубежным ученым L. Swann, A. Bolfing, S.R. Mitroff.

Квалиметрическим методам оценки безопасности на транспорте посвящены труды Ю.Б. Михайлова, Ю.М. Волынского-Басманова.

Значительные шаги в обобщении достигнутых результатов в обеспечении АБ и введении в теорию АБ сделаны Л.Н. Елисовым, Н.И. Овченковым и Р.С. Фадеевым.

Объект исследования.

Процессы обеспечения безопасности воздушных перевозок.

Предмет исследования.

Модели, методы и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при организации и проведении досмотра багажа в аэропорту.

Методы исследования.

В процессе выполнения работы использованы методы математического и системного анализа, методы теории вероятностей и математической статистики, методы управления, методы системотехники и математического моделирования, теории сложных систем, теории принятия решений, теории квалиметрии, теории рисков.

Цель и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является обеспечение требуемого уровня безопасности воздушных перевозок на основе метода квалиметрического управления процессом досмотра багажа в системе управления авиационной безопасностью аэропорта. Для достижения этой цели решается **комплекс взаимосвязанных задач:**

- анализ состояния и существующих проблем в области обеспечения авиационной безопасности аэропорта при перевозке пассажиров на воздушном транспорте в современных условиях;

- обоснование нормативных требований безопасности к системе предполётного досмотра на основе процессного подхода к перевозке пассажиров на воздушном транспорте;

- выработка критериев и методики оценки риска процесса предполетного досмотра в системе управления авиационной безопасностью аэропорта;

- разработка математических моделей системы предполетного досмотра и многоуровневой системы досмотра багажа в аэропорту с помощью аппарата сетей Петри для верификации протоколов обеспечения авиационной (транспортной) безопасности при проведении досмотра в аэропорту;

- исследование имитационной модели многоуровневой системы досмотра багажа, с целью оценки влияния параметров и характеристик досмотрового оборудования и принятых организационных мерах на качество контроля багажа;

- разработка методики квалитметрического управления процессом досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки.

Научная новизна результатов.

Научная новизна исследования состоит в развитии методов защиты объектов воздушного транспорта (ВТ) от несанкционированного вмешательства в авиационную деятельность применительно к процессу предполетного досмотра. В настоящей работе впервые:

- разработаны модели предполётного досмотра и пятиуровневой системы досмотра багажа на основе сетей Петри, *отличающиеся* возможностью верификации протокола обеспечения авиационной (транспортной) безопасности процесса досмотра в аэропорту;

- обоснованы критерии ранжирования тяжести происшествий, связанных с недостатками проведения предполётного досмотра, с учётом их возможных последствий, *отличающиеся* согласованностью с требованиями норм лётной годности самолётов транспортной категории;

– предложена методика количественной оценки риска воздушных перевозок, *отличающаяся* возможностью минимизации влияния «человеческого фактора» за счёт оценки согласованности мнений экспертов на основе метода анализа иерархий (МАИ);

– предложена авторская технология квалиметрического управления процессом досмотра багажа в аэропорту, *отличающаяся* использованием разработанной имитационной модели для получения граничных значений коэффициентов отказа в пропуске багажа для каждого уровня досмотра в системе многоуровневого контроля багажа.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Представленные в диссертационной работе модели предполетного досмотра и многоуровневой системы досмотра багажа позволяют осуществлять проверку, определяемого требованиями руководящих документов, порядка функционирования пункта досмотра, оценивать его пропускную способность и временные параметры, осуществлять квалиметрическое управление процессом досмотра багажа.

Достоверность полученных результатов определяется корректным использованием математического аппарата, корректным обоснованием основных допущений и ограничений при постановке научной задачи и выборе исходных данных для моделей. Она, также, основана на совпадении полученных данных имитационного моделирования с реальными статистическими данными процесса досмотра в аэропорту.

Основные положения, выносимые на защиту:

– обоснование количественных показателей безопасности процесса контроля багажа, *позволяющие* выработать нормативные значения вероятностей (частоты) возникновения особых ситуаций на борту ВС, связанных с недостатками проведения предполетного досмотра;

– критерии и методика оценки рисков процесса предполетного досмотра в системе управления авиационной безопасностью аэропорта, *позволяющие*

применить квалиметрические методы оценки уровня безопасности воздушной перевозки;

– результаты исследований имитационной модели многоуровневой системы досмотра багажа, реализованной в программной среде CPN Tools, *позволяющие* определить влияние основных параметров и характеристик досмотрового оборудования аэропорта и принятых организационных мерах на качество контроля багажа;

– методика квалиметрического управления процессом досмотра багажа на основе количественной оценки качества его проведения в многоуровневой системе обработки.

Апробация результатов исследования.

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международная научная конференция «Гражданская авиация: XXI век», г. Ульяновск (2015 г.); Международная научно-техническая конференция посвященная 45-летию МГТУ ГА «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», г. Москва (2016 г.); Международная научно-практическая конференция «Транспорт России: проблемы и перспективы», г. Санкт-Петербург (2016, 2017, 2019 гг.); Международная научно-техническая конференция, посвященная 95-летию гражданской авиации России «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», г. Москва (2018 г.).

Основные результаты диссертационной работы изложены в 15 печатных работах (86/40 страниц), в том числе: 4 научные статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ (24/13 страницы); 2 научные статьи опубликованы в журналах, входящих в Scopus (17/5 страниц); 7 тезисов и текстов докладов на международных научных, научно-технических и научно-практических конференциях (33/16 страницы); 2 публикации в прочих изданиях (12/6 страниц).

Внедрение результатов работы.

Результаты диссертационных исследований по разработке и моделированию

процесса досмотра пассажиров, их ручной клади и багажа, а также пятиуровневой системы досмотра багажа использованы в организациях:

– АО «Международный аэропорт Шереметьево» – внедрена в практику работы службы авиационной безопасности аэропорта методика «Управление процессом досмотра багажа на основе количественной оценки качества его проведения в многоуровневой системе обработки багажа» (Методика М-5.1- 02-18 введена в действие Распоряжением № 4-05 от 16 января 2019 г.).

– Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева (УИ ГА, г. Ульяновск) – при проведении учебного процесса по направлению подготовки курсантов (студентов) 25.03.03 – Аэронавигация, профилю подготовки – Обеспечение авиационной безопасности на кафедре обеспечения авиационной безопасности факультета подготовки авиационных специалистов.

Личный вклад.

Основные результаты диссертационной работы являются оригинальными и получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии, что подтверждено публикациями. Во всех работах по теме диссертации, в том числе совместных, автору принадлежат основные положения по организации квалитетического управления процессом досмотра багажа в задачах обеспечения авиационной безопасности аэропорта на основе разработанных имитационных математических моделей.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы и приложений. Основная часть работы содержит 127 страниц машинописного текста, 21 рисунок, 13 таблиц и 2 приложения. Список литературы содержит 131 наименование.

Особенность данной диссертационной работы.

Данная диссертационная работа носит научно-исследовательский характер в области обеспечения транспортной безопасности на воздушном транспорте и не касается ее юридических аспектов. Исходя из этого, планируемые с 1 марта 2025

года некоторые изменения руководящих документов в области обеспечения транспортной безопасности, определяющих терминологию в исследуемой предметной области не влияют на решаемые в данной работе задачи и цель диссертационной работы. Используемая в данной работе терминология соответствует планируемым изменениям следующим образом:

- авиационная безопасность – транспортная безопасность воздушного транспорта;
- предполетный досмотр – досмотр;
- служба авиационной безопасности – подразделение транспортной безопасности.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Эффективное экономическое развитие страны существенно зависит от состояния ее транспортной системы и реализуемых транспортных технологий. Они обеспечивают необходимые условия для роста национальной экономики, повышают ее конкурентоспособность, способствуют улучшению качества жизни населения.

От развитости транспортного комплекса сильно зависит мобильность Вооруженных Сил Российской Федерации, а, следовательно, обороноспособность России и ее национальная безопасность.

Транспорт также влияет на конкурентоспособность транзитного потенциала страны.

Дальнейшее развитие и совершенствование транспортных технологий приводит к усложнению транспортных систем и транспортных инфраструктур, что неизбежно расширяет спектр потенциальных угроз безопасности на транспорте. При этом из всех существующих угроз наиболее опасной является угроза, связанная с незаконным вмешательством в деятельность транспортной системы и имеющая террористическую направленность.

Из всех потенциально возможных угроз совершения АНВ в деятельность ОТИ и ТС [56], традиционно основную угрозу для авиации представляет захват воздушных судов, который становится возможным благодаря проносу на борт воздушного судна огнестрельного оружия, взрывчатых веществ (ВВ), отравляющих веществ (ОВ), ядовитых веществ (ЯВ), боеприпасов или гранат.

В последние годы проявились новые виды угроз и вызовов: кибертерроризм, инсайдеры и использование беспилотных летательных аппаратов [95].

Учитывая эти новые угрозы, ИКАО постоянно разрабатывает и внедряет новые механизмы регулирования защиты международной гражданской авиации

путем внесения изменений в стандарты и рекомендуемую практику в виде новых обязательных требований.

В настоящее время увеличились не только количественные показатели террористических проявлений на транспорте, но и произошли их определенные качественные изменения: появились угрозы использования захваченных транспортных средств в качестве орудия совершения террористических актов на важных объектах и/или в местах массового скопления людей.

Кроме того, террористы при планировании и реализации своих террористических акций осуществляют мониторинг систем обеспечения авиационной безопасности в аэропортах, с целью выявления в них слабых мест. Так, осуществленный террористом-смертником 24.01.2011 взрыв в московском аэропорту «Домодедово» показал, что из-за невозможности проноса на борт воздушного судна самодельного взрывного устройства при грамотных действиях сотрудников службы авиационной безопасности при проведении предполетного досмотра, террористический акт был реализован на территории аэропорта в зале международных прилетов.

Постоянно возрастающая сложность транспортных инфраструктур, увеличение количества транспортных средств (различной модальности), рост объемов пассажирских и грузовых перевозок, необходимость удовлетворения растущих требований к их качеству требуют внедрения в практику работы соответствующих служб новых, научно обоснованных подходов к обеспечению безопасности всего процесса транспортных перевозок.

Это в полной мере относится и к воздушному транспорту России, играющему важную роль в развитии экономики страны и являющемуся одним из важнейших и динамично развивающихся элементов транспортной системы страны [80, 81]. По прогнозам до 2030 года развитие воздушного транспорта России, как составной части транспортного комплекса страны, будет осуществляться устойчивыми темпами, значительно опережающими мировые показатели [70, 98, 99, 100].

С повышением конкурентоспособности воздушного транспорта на рынке дальних пассажирских перевозок по сравнению с железнодорожным, а также с развитием процессов интеграции авиаперевозчиков в мировой рынок, быстрыми темпами увеличивается объем внутренних авиаперевозок.

Обеспечение безопасности воздушных перевозок на ранних этапах развития гражданской авиации осуществлялось в основном за счет безопасности полетов, при этом для ее улучшения основное внимание уделялось надежности воздушных судов, квалификации персонала, обслуживающего и эксплуатирующего эти ВС, организации полётов и другим факторам, имеющих непосредственное отношение к полётам [36].

В дальнейшем, в связи с тем, что преступные акты незаконного вмешательства в деятельность гражданской авиации приобретают постоянство и массовость, методы террористов становятся все более изощренными. Они хорошо планируются, готовятся, технически обеспечиваются. Так как преступные действия становятся более организованными, характер их проведения отличается жестокостью, поэтому мировое авиационное сообщество вынуждено разрабатывать соответствующие мероприятия и программы по борьбе с ними.

Претворение в жизнь концепции национальной безопасности РФ в части, касающейся воздушного транспорта, осуществлялось в соответствии с положением «О Федеральной системе обеспечения защиты деятельности гражданской авиации от актов незаконного вмешательства», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 30.07.1994 № 897 [55] (документ утратил свою силу в связи с разработкой и публикацией Постановления Правительства РФ от 21.02.2020 № 191). Этот документ представлял собою совокупность правовых и организационных мер, которые были направлены на предотвращение и пресечение противоправных действий в отношении ОТИ и ТС ГА. Однако, накопленный в мире опыт создания, совершенствования и эксплуатации таких систем показывает, что в решении указанных проблем наиболее эффективным является путь, заключающийся в использовании современных научно-обоснованных подходов и методов защиты ГА от АНВ. Дальнейшим развитием

нормативно-правовой деятельности государства в области защиты гражданской авиации от АНВ стала разработка новых документов. К ним относятся Федеральная система обеспечения АБ (Национальная программа АБ) [90] и Федеральная система контроля качества (Национальная программа контроля качества АБ) [92]. Эти документы одобрены Межведомственной комиссией по авиационной безопасности, безопасности полетов гражданской авиации и упрощению формальностей от 4 апреля 2019 г. Целью Национальной программы АБ является обеспечение безопасности жизни и здоровья пассажиров, членов экипажей воздушных судов, наземного персонала авиапредприятий и других лиц, охраны воздушных судов и объектов аэропортовой инфраструктуры путем осуществления мер по защите от актов незаконного вмешательства посредством внедрения и реализации комплекса мер, людских и материальных ресурсов в соответствии с установленными нормативными правовыми актами Российской Федерации [93]. Федеральная система контроля качества была разработана для обеспечения эффективной реализации Федеральной системы авиационной безопасности и поддержания надлежащего уровня защиты деятельности гражданской авиации от актов незаконного вмешательства [92].

Авиационная безопасность обеспечивается комплексом мер, предусматривающих создание и функционирование служб авиационной безопасности, охрану аэропортов, воздушных судов и объектов гражданской авиации, досмотр членов экипажей, обслуживающего персонала, пассажиров, ручной клади, багажа, почты, грузов и бортовых запасов, предотвращение и пресечение попыток захвата и угона воздушных судов [55].

На систему авиационной безопасности аэропорта возлагаются следующие основные задачи [50]:

– прогнозирование и своевременное выявление, и устранение угроз безопасности персоналу и ресурсам, причин и условий, способствующих нанесению финансового, материального и морального ущерба, нарушению его нормального функционирования и развития;

- создание механизма и условий оперативного реагирования на угрозы безопасности и проявление негативных тенденций в функционировании предприятий;

- эффективное пресечение угроз персоналу и посягательств на ресурсы на основе правовых, организационных и инженерно-технических мер и средств обеспечения безопасности;

- создание условий для максимально возможного возмещения и локализации наносимого ущерба неправомерным действиям физических и юридических лиц, ослабление негативного влияния последствий нарушения безопасности на достижение стратегических целей аэропорта.

1.1 Современное состояние и проблемы обеспечения авиационной безопасности в гражданской авиации России

Авиационная безопасность представляет одну из составляющих безопасности воздушных перевозок и является составной частью транспортной безопасности. Согласно [30, 89] под транспортной безопасностью понимается состояние защищенности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств от актов незаконного вмешательства. При этом авиационная безопасность определяется как состояние защищенности авиации от незаконного вмешательства в деятельность в области авиации. Незаконное вмешательство в деятельность в области авиации – противоправные действия (бездействие), угрожающие безопасной деятельности в области авиации, повлекшие за собой несчастные случаи с людьми, материальный ущерб, захват или угон воздушного судна либо создавшие угрозу наступления таких последствий [17].

Защита гражданской авиации от незаконного вмешательства в ее деятельность обеспечивается службами авиационной безопасности (САБ) аэропортов. Их деятельности направлена на [68]:

- организацию мер противодействия АНВ в деятельность гражданской авиации в аэропорту;
- подготовку сотрудников САБ;
- организацию пропускного и внутриобъектового режимов;
- обеспечение безопасности ВС и объектов аэропорта;
- досмотр пассажиров и вещей, находящихся при них, багажа, грузов, почты, ВС и их бортовых запасов.

Важную роль в обеспечении АБ ИКАО отводит вопросам контроля за состоянием АБ со стороны государства [74] – где изложены обязанности и сформулирована ответственность государств – членов ИКАО в отношении создания и организации работы национальной системы безопасности гражданской авиации.

Не смотря на большую проводимую работу по защите аэропортов от АНВ, существует ряд специфических недостатков в обеспечении АБ на объектах гражданской авиации, которые выявляются центральным аппаратом и территориальными органами Росавиации в результате, проводимых на регулярной основе, инспекционных проверок [31, 32, 71]:

- слабое оснащение аэропортов досмотровой техникой, реализованной на новейших достижениях науки и техники;
- наличие недостатков в профессиональной подготовке сотрудников досмотровых групп (неуверенное распознавание ухищренных способов проноса запрещенных предметов на борт ВС);
- допущение ошибок и просчетов сотрудниками САБ при выполнении своих функциональных обязанностей;
- несоблюдение утвержденной технологии проведения досмотра пассажиров, их ручной клади, багажа и грузов (недостаточное эффективное применение существующих методов досмотра);
- нарушение инструкций по эксплуатации ТСД;
- отсутствие научно обоснованных методов количественной оценки качества проведения досмотра.

Имеющиеся недостатки и проблемы, снижающие уровень авиационной безопасности, можно условно разделить на четыре группы (рисунок 1.1):

- проблемы организационной структуры САБ;
- недостатки управления;
- недостатки, связанные с надежностью технических средств обеспечения авиационной безопасности (ТС ОАБ);
- недостатки, связанные с влиянием на обеспечение АБ человеческого фактора.



Рисунок 1.1 – Причинно-следственная диаграмма Исикавы снижения уровня АБ

Проблемы организационной структуры САБ.

К ним относятся:

- проблема не укомплектованности штата САБ профессионально подготовленными сотрудниками;
- появление новых авиаперевозчиков, которые переманивают хороших сотрудников за счет предоставления более выгодных условий работы;
- искажение отчетных данных о нарушениях требований АБ;
- недостаточный уровень автоматизации процесса обработки данных о нарушениях требований АБ.

Недостатки управления.

Среди таких недостатков выделяются следующие:

- неактуальная нормативно-правовая база;
- недостатки, связанные с мотивацией труда сотрудников (невысокая заработанная плата);
- несвоевременное реагирование на нарушения требований АБ;
- ориентация на поиск и наказание виновных в нарушении требований АБ;
- низкий уровень прогнозирования и предупреждения нарушений требований АБ;
- недостаточный уровень автоматизации при принятии управленческих решений на различных уровнях управления;
- отсутствие научно обоснованных методов количественной оценки качества выполняемых сотрудниками САБ технологических операций по обеспечению авиационной безопасности в аэропортах.

Недостатки, связанные с надежностью ТС ОАБ.

В этой группе недостатков наиболее важными являются:

- несовершенство технического и технологического обеспечения (во многих аэропортах используются устаревшие образцы ТС ОАБ);
- недостаточное качество ТС ОАБ (отказы оборудования, ложные тревоги);
- некачественное проведение технического обслуживания и ремонта.

Недостатки, связанные с влиянием на обеспечение АБ человеческого фактора.

Наиболее существенными из этой группы недостатков являются:

- недостаточный уровень профессиональной подготовки персонала САБ (большая текучесть кадров);
- формализм в разработке должностных инструкций персоналу САБ;
- несоблюдение отдельными сотрудниками технологической дисциплины;
- сокрытие сведений о нарушениях требований АБ.

В период своей летной эксплуатации воздушные суда оказываются в регионах и странах с различными степенями угроз. В каждом аэропорту имеется

своя специфика и свой уровень авиационной безопасности. Так 31 октября 2015 года произошла авиационная катастрофа над центральной частью Синайского полуострова. Эта катастрофа стала одновременно крупнейшей авиакатастрофой в истории Египта и самолётов семейства Airbus, крупнейшей авиакатастрофой 2015 года. Российский пассажирский самолет Airbus A321 авиакомпании "Когалымавиа", выполнявший рейс по маршруту Шарм-эль-Шейх – Санкт-Петербург, разбился в 100 км от Эль-Ариша в Египте. Все, находившиеся на его борту, 224 человека (7 членов экипажа и 217 пассажиров) погибли – это самая массовая гибель граждан России в авиакатастрофе за всю историю мировой авиации. Как известно из СМИ спустя две недели после трагедии, глава ФСБ А. В. Бортников на совещании у президента РФ В. В. Путина сообщил, что причиной катастрофы A321 стал теракт. Эта авиакатастрофа в Египте показала, что система безопасности в аэропорту не отвечает международным стандартам. Однозначного ответа на вопрос каким образом самодельное взрывное устройство (СВУ) попало на борт ВС на сегодняшний день нет. По последним данным СВУ могли пронести на борт сотрудники фирмы, поставляющей продукты, через персонал, имеющий доступ на взлётную полосу, а также через ручную кладь и оно находилось в хвостовой части салона самолета.

По данным СМИ задержаны двое сотрудников аэропорта Шарм-эль-Шейха, подозреваемых в пособничестве террористам, однако никто не привлечен к ответственности, и египетская сторона отказывается называть крушение терактом.

22 марта 2016 г. в бельгийской столице произошла серия терактов. Два взрыва террористы-смертники устроили в зале вылетов Брюссельского аэропорта, убив 15 человек и ранив еще 81 человека.

28 июня 2016 г. в результате теракта в аэропорту Стамбул погибли не менее 36 человек, несколько десятков человек получили ранения.

Все эти факты свидетельствуют о том, что наряду с другими мероприятиями обеспечения авиационной безопасности воздушных перевозок возрастает роль процесса предполетного досмотра в аэропортах.

На современном этапе важнейшей проблемой авиационной безопасности является обеспечение превентивных мер по защите гражданской авиации от попыток совершения актов незаконного вмешательства в ее деятельность. При этом осуществляемый комплекс мероприятий, направленных на решение данной проблемы, реализуется по разным направлениям: от разработки и гармонизации нормативно-правовых актов [103] до внедрения новых физических принципов в технологии и процедуры обеспечения авиационной безопасности.

В настоящее время технический уровень оснащенности террористов предъявляет все более высокие требования к обеспечению авиационной безопасности на борту воздушного судна, а, следовательно, к процессу проведения предполетного досмотра в аэропорту. Для обеспечения безопасности воздушных перевозок разрабатываются и вводятся в эксплуатацию различные технические средства досмотра, основанные на новых инновационных технологиях, в практику повседневной деятельности САБ внедряются новые научные подходы и методы детектирования запрещенных к перевозке предметов (веществ), применяются административные ресурсы. Однако, на сегодняшний день не проводится количественная оценка качества проведения процесса досмотра в аэропорту и оценка уровня безопасности предстоящего полета в зависимости от условий аэропортов вылета и прилета.

Анализ состояния авиационной безопасности в гражданской авиации показывает, что оно не соответствует современным требованиям к качеству перевозки пассажиров и грузов на воздушном транспорте. Рост АНВ (таблица 1.1) в адрес ГА не только не прекращается, но и имеет тенденцию к их увеличению.

За 2020 год в отношении ОТИ и ТС воздушного транспорта поступило 427 сообщений об угрозах совершения актов незаконного вмешательства. В этот же период службами авиационной безопасности аэропортов было выявлено и пресечено 5 попыток несанкционированного проникновения на объекты гражданской авиации, а также 47 223 попытки проноса пассажирами предметов и веществ, запрещенных к перевозке на воздушном транспорте [32].

Эффективное функционирование любого аэропорта во многом зависит от внешних и внутренних условий, в которых он осуществляет свою производственную деятельность. В связи с этим, проблемы обеспечения безопасности воздушных перевозок необходимо рассматривать с учетом этих условий.

Таблица 1.1 – Статистические данные по АНВ в РФ [31, 36]

АНВ (по видам)	Годы										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Осуществлено взрывов ВС и ОТИ аэропортов	1 (погибло - 37 чел., ранено - 172 чел.)	–	–	–	1 (погибло - 224 чел.)	–	–	–	–	–	–
Осуществлено захватов ВС	–	1	–	–	1	–	–	–	–	–	–
Пресечено и предотвращено попыток захвата ВС	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Получено сообщений, содержащих угрозы террористического характера	58	89	93	131	154	181	146	103	175	427	151
Выявлено авторов сообщений, содержащих угрозу	32	62	60	47	–	–	37	33	–	–	–
Пресечено попыток, несанкционированного проникновения в ВС	1	1	–	1	–	–	–	–	–	–	–
Пресечено попыток, несанкционированного проникновения на ОТИ ВТ	5	16	15	11	20	10	12	8	5	5	2
Другие АНВ	5	24	21	28	–	–	117	47	22	–	–
Общее количество АНВ	71	131	129	171	175	191	275	158	202	432	153

Внешние условия зависят от основных тенденций развития мировой цивилизации, поэтому при рассмотрении вопросов обеспечения безопасности воздушных перевозок необходимо учитывать следующие факторы [26]:

- наличие большого количества нерешенных проблем, противоречий и конфликтов на межгосударственном, межнациональном и межрегиональном уровнях;

- усиление борьбы за природные ресурсы в мире;
- усиление тенденции разделения стран на богатых и бедные;
- повышение самосознания народов, их желание иметь равные права и возможности в получении благ;

- ускоренное развитие информационных технологий, информационного обмена, интернет-технологий;

- изменение законодательства;

- конкуренция;

- криминогенная обстановка в районе аэропорта.

К внутренним условиям относятся:

- разработанная стратегия и принципы деятельности авиапредприятия;

- имеющиеся ресурсы и их использование;

- достигнутый уровень и качество маркетинга;

- эффективность менеджмента;

- компетентность сотрудников;

- контроль за циркулирующей информацией;

- качество и конкурентоспособность предоставляемых услуг.

Для эффективного выявления запрещенных к перевозке на ВС опасных предметов и веществ и предотвращения попадания их на борт система обеспечения АБ в аэропортах РФ постоянно развивается и совершенствуется. Так, по итогам 2019 г. при досмотре пассажиров, ручной клади и багажа, а также грузов и почтовых отправок в аэропорту Шереметьево было выявлено и изъято 2087 единиц оружия, в том числе: 5 – огнестрельного, 88 – холодного, 34

единицы оружия других видов, 1830 единиц специальных средств, 2123 единицы колюще-режущих предметов [14].

Значительное влияние на совершенствование технологий обеспечения безопасности в аэропортах оказывает сложившаяся в настоящее время эпидемиологическая обстановка в стране и мире, связанная с пандемией коронавируса. Принятые карантинные меры обязывают администрацию аэропорта обеспечивать соблюдение социальной дистанции, правил масочного режима, контроля температуры тела при входе в здание аэровокзала. Все это требует новых решений, связанных с наблюдением за пассажирами, сотрудниками и посетителями аэропорта с помощью интеллектуальных систем видеонаблюдения. Огромное значение имеет развитие бесконтактных методов идентификации в системах контроля и управления доступом на ОТИ аэропорта.

Для решения, стоящих перед службой АБ авиапредприятия задач по обеспечению безопасности воздушных перевозок, в мировой практике обеспечения безопасности целенаправленной деятельности используется подход, основанный на применении системы управления, как правило, ограниченными силами и средствами, что хорошо укладывается в цикл непрерывного совершенствования процессов Шухарта-Деминга PDCA (*P* – plan – планируй; *D* – do – делай; *C* – check – проверяй; *A* – act – действуй) [104].

1.2 Основные направления деятельности по обеспечению авиационной безопасности в гражданской авиации

Проблема обеспечения безопасности воздушных перевозок существовала с самого начала развития гражданской авиации, но особенно остро она проявилась в начале семидесятых годов прошлого века, когда преступные акты незаконного вмешательства в деятельность гражданской авиации приобрели постоянный характер. В это время в мире происходит значительное увеличение количества АНВ, связанных с захватами ВС, их угонами, проведением диверсий и шантажа.

В мировом авиационном сообществе возникла острая необходимость ведения борьбы со всеми проявлениями воздушного терроризма.

Федеральная авиационная служба (ФАС) России (1993 – 1999 гг.) полностью поддерживала все прилагаемые усилия ИКАО, направленные на обеспечение авиационной безопасности международной гражданской авиации, и считала это своей приоритетной задачей.

ФАС России, как государственный полномочный орган, отвечала за состояние системы авиационной безопасности РФ, определяла ее развитие и координировала всю ее деятельность.

После утверждения Правительством Российской Федерации (в 1994 г.) Федеральной системы обеспечения защиты деятельности гражданской авиации от актов незаконного вмешательства [36, 55]:

- во всех аэропортах и авиакомпаниях России были разработаны и осуществляются Программы обеспечения авиационной безопасности;
- во всех крупных аэропортах и авиакомпаниях России созданы и совершенствуют свою деятельность службы авиационной безопасности;
- специалисты служб авиационной безопасности проходят подготовку в ряде учебных заведений и учебных центрах России;
- совершенствуется нормативная правовая база, регулирующая вопросы авиационной безопасности на уровне авиакомпаний, аэропортов и государства в целом;
- в сфере авиационной безопасности осуществляется активное сотрудничество России с ведущими странами мира и международными организациями ГА.

В Федеральном законе («Воздушный кодекс Российской Федерации»), принятом 19 марта 1997 года [17], имеется глава 12 «Авиационная безопасность», определяющая основные требования по защите отечественной гражданской авиации от актов незаконного вмешательства в её деятельность.

В рамках механизма непрерывного мониторинга универсальной программы проверок ИКАО [73] в июне 2019 г. Международной организацией гражданской

авиации (ИКАО) была проведена плановая проверка Российской Федерации в сфере обеспечения авиационной безопасности. В аэропорту Шереметьево зарубежными аудиторами была проведена проверка практической реализации государственных требований по обеспечению авиационной безопасности. По результатам проверки аэропорт Шереметьево был признан полностью соответствующим стандартам ИКАО. В ходе аудита положительную оценку получили новые объекты, введенные в эксплуатацию в преддверии чемпионата мира по футболу–2018: пассажирский терминал В на 20 млн. пассажиров и грузовой комплекс ООО "Москва Карго" мощностью 380 тыс. тонн грузов в год. Особо отмечено, что в ходе проектирования и строительства данных объектов инфраструктуры были учтены основополагающие принципы ИКАО – обеспечение должного уровня авиационной безопасности при упрощении процедур и сокращении времени предполетных формальностей [14, 31].

В условиях постоянного интенсивного увеличения пассажиропотока для обеспечения рекомендуемых стандартов АБ применяется комплексный подход, который предполагает учет всех требований при планировании терминального комплекса, анализ лучших мировых и отечественных практик, тщательный отбор технических систем и оборудования, внедрение информационных систем мониторинга безопасности авиационной деятельности [11], обучение и постоянное повышение квалификации персонала [21].

Благодаря последним достижениям и технологиям биометрии – сочетанию систем распознавания лиц и идентификации по радужной оболочке глаз – в мировой практике обеспечения безопасности пассажирских авиаперевозок появилась возможность для пассажиров (компания Emirates) регистрироваться на свой рейс, проходить паспортный контроль, попадать в зал ожидания и садиться в свой самолет без особых проблем. Интегрированный биометрический коридор обеспечивает пассажирам удобное перемещение по аэропорту, сокращая количество пунктов проверки документов и очередей, а также обеспечивает им бесконтактный перелет согласно нормам гигиены, уменьшая взаимодействия между людьми и ставя в приоритет здоровье и безопасность пассажиров и

сотрудников авиакомпании. Сейчас использование технологий и внедрение продуктов и процессов, позволяющих не только ускорить процедуру посадки на рейс, но и обеспечить здоровье и безопасность пассажиров во время их путешествия, стало еще важнее. «Ультрасовременный, бесконтактный биометрический коридор – это последнее нововведение в ряде инициатив, которые приняты, чтобы гарантировать клиентам удобное путешествие с Emirates без лишних переживаний» [7, 35]. Данный метод требует дальнейших научных исследований и технических разработок.

По информации представителей группы компаний «Центр речевых технологий» на объектах транспортной инфраструктуры, где предполагается наличие больших потоков людей, эффективно решается задача поиска разыскиваемых лиц с применением систем интеллектуального видеонаблюдения нового поколения, использующих современные биометрические технологии для идентификации лиц, попадающих в поле зрения видеокамер, в реальном масштабе времени без вмешательства оператора. Аппаратно-программный комплекс (АПК) «Визирь» позволяет организовывать скрытые рубежи контроля, при пересечении которых разыскиваемое лицо будет идентифицировано с вероятностью 97% через 1-3 секунды после его попадания в область действия видеокамеры и помещено в архив. АПК «Визирь» также идеально подходит для создания и ведения базы фотографических изображений лиц, представляющих интерес. Биометрический поиск образца лица в картотеке из 1 миллиона лиц занимает менее 3 секунд, а пополнение картотеки производится с любых носителей. Частота ложных срабатываний алгоритма во время тестирования на больших выборках составляет порядка одного случая на десятки тысяч, причем обычно ошибка вызвана тем, что лицо пассажира просто плохо видно видеокамере. В реальных условиях эта ошибка будет гораздо ниже.

Распознавание лиц разработчики реализовали с помощью сверточной нейронной сети [51, 97]. Она принимает на входе видеопоток, выделяет на нем лица, а затем вычисляет для них множество биометрических характеристик, используемых для идентификации. Эта информация сопоставляется с базой

данных не напрямую, а в виде хэшей. Если хэш пассажира в кадре совпал с хэшем из базы, система пропускает пассажира. Разработчики обучали алгоритм на реальных данных с видеокамер, установленных в аэропортах, на железнодорожных вокзалах, стадионах и в других местах массового пребывания людей.

Кроме того, эта система позволяет узнавать пассажиров не только в лицо, но и по голосу – при звонке в колл-центр. Благодаря возможности голосовой идентификации, пассажир сможет не только получить справочную информацию, но и поменять детали своего полета.

Программное обеспечение для просмотра камер способно автоматизировать ключевые процессы из-за наличия функции машинного обучения и интеллектуального анализа, не требуя для своей эксплуатации такого количества персонала, как традиционная система видеонаблюдения.

По мере того, как системы становятся еще более интеллектуальными и легко адаптируемыми, они требуют меньше ресурсов, при этом обеспечивая большую точность и эффективность по сравнению с традиционными технологиями видеонаблюдения.

В ответ на возникающие новые угрозы в адрес ГА администрации аэропортов вынуждены значительно усиливать меры безопасности, направленные, в первую очередь, на защиту жизни, здоровья пассажиров, членов экипажей воздушных судов, наземного персонала авиапредприятий и других лиц. При этом рост объема пассажирских перевозок заставляет увеличивать пропускную способность аэропортов, а удовлетворение растущих требований к качеству обслуживания пассажиров вынуждает сокращать время от входа пассажира в аэропорт до его вылета (сокращать очереди).

Для решения этих проблем в крупных аэропортах по всему миру внедряются такие системы на основе искусственного интеллекта, как:

- роботы самообслуживания на стойках регистрации;
- системы распознавания лиц, выявления запрещенных к перевозке предметов (веществ) при проведении предполетного досмотра;

– системы досмотра человека на пунктах контроля, функционирующие на основе комбинации технологий распознавания лиц и сканеров, работающих в миллиметровом диапазоне, позволяющие повысить безопасность в контролируемых зонах аэропорта.

Для автоматического выявления и анализа данных об угрозах безопасности воздушных перевозок широко используются последние достижения в области нейронных сетей – структур для построения алгоритмов машинного обучения.

В современных киберфизических системах [41] и системах идентификации личности для получения, хранения и обработки биометрических данных любого человека важное требование предъявляется к достоверности цифровых данных. Эти данные обрабатываются на основе сетевых технологий, подверженных различным мешающим и деструктивным факторам, носящим стохастический характер. В этих условиях актуальной задачей является защита данных от помех на базе средств помехоустойчивого кодирования. Это позволяет реализовать алгоритмы кластерного декодирования и обеспечить гибкую систему защиты биометрических данных не только в современных системах обмена цифровых данных, но и в будущих перспективных системах подобного рода [115].

Возможность дальнейшего обучения существующих алгоритмов на основе непрерывного сбора и использования данных из этих систем, позволяет совершенствовать эти системы, делать их намного умнее и эффективнее.

Внедрение в практику повседневной деятельности службы АБ аэропорта интегрированной интеллектуальной системы безопасности, позволяющей анализировать входящие данные, полученные с видеокамер, радиолокационных, лазерных и других устройств позволит операторам на самых ранних стадиях выявлять потенциально проблемные события и принимать упреждающие меры.

1.3 Системный подход к организации обеспечения авиационной безопасности в аэропорту

При обосновании и принятии управленческих решений в самых различных

областях человеческой деятельности системный подход является преобладающим [60, 61]. Системная методология, представляя собой наиболее упорядоченную основу для управления сложными организационно-техническими системами, позволяет выявлять все составляющие элементы этих систем, проводить анализ и обеспечивать их взаимосвязь и взаимодействие [15, 46].

К основным научным направлениям, реализующим системный подход, относятся общая теория систем, системный анализ, кибернетика, системотехника, исследование операций, квалиметрия и т. д. [34, 50].

Для различных концепций теории систем, системного подхода, системологии, прикладных исследований понятие «система» является базовым. Из-за существующего различия концепций теории систем и вариантов системного подхода, отличающихся составом и содержанием используемых понятий и принципов, а также из-за многообразия типов и назначений систем существует более 40 подходов к определению понятий «система», которые условно можно разделить на пять групп.

В общей теории систем (системологии) система рассматривается как комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, предназначенный для решения единой задачи [5, 33, 34].

В дальнейшем в данной работе под системой понимается совокупность элементов и процессов (называемых компонентами), находящихся в отношениях и взаимосвязях между собой, образующих единое целое и характеризующихся интегративным, или системным свойством, отличающим данную совокупность от среды и приобщающим к этому свойству каждый из ее компонентов [15]. Аналитическое представление определения системы имеет следующий вид [25]:

$$\sum: \{\{M\}, \{x\}, F\}, \quad (1.1)$$

где $\sum$ – система;

$\{M\}$ – множество элементов системы;

$\{x\}$ – совокупность связей в ней;

F – функция (новое свойство) системы.

Под элементом системы понимается некоторый объект (материальный, энергетический, информационный), обладающий рядом важных для нас свойств, внутреннее строение (содержание) которого безотносительно к цели рассмотрения. Связью является важный для целей рассмотрения обмен между элементами веществом, энергией, информацией [25]. При этом сложной системой считается такая система, у которой составляющие ее элементы являются разнотипными и обладают разнородными связями между ними. Разнородность элементов представим в следующем виде:

$$\{M\}: \{\{M^1\}, \{M^2\}, \dots, \{M^R\}\} \quad (1.2)$$

где R – количество типов элементов в системе.

Аналогично представляется разнородность связей элементов системы.

Эргатическая система – это сложная система управления, составной элемент которой является человек-оператор (или группа операторов).

Эргатическая система подразумевает взаимодействие субъекта и объекта труда. В более общем виде она определяется как система «человек – машина – среда – социум – культура – природа».

Сложную целеустремленную систему, включающую человека-оператора (группу людей), технические устройства (средства деятельности), объекты деятельности и среду, в которой находится человек, символически представим в следующем виде [25]:

$$\sum^{\mathcal{EC}}: \{\{M^q\}, \{M^T\}, \{M^{\partial p}\}, \{x^{q-T}\}, \{x^{\partial p}\}, F\} \quad (1.3)$$

где $\sum^{\mathcal{EC}}$ – эргатическая система;

$\{M^q\}$ – решения и другая деятельность человека-оператора;

$\{M^T\}$ – технические средства системы;

$\{M^{\partial p}\}$ – остальные элементы в системе;

$\{x^{q-T}\}$ – совокупность связей между человеком и техникой;

$\{x^{\partial p}\}$ – другие связи между элементами системы.

В основе системного подхода лежит постулат о том, что любая организация есть система, которая состоит из набора устремленных к достижению общей цели и функционирующих как единое целое взаимосвязанных элементов и частей. Система получает некие ресурсы из внешней среды, преобразует их и возвращает новые ресурсы во внешний мир. В соответствии с теорией систем деятельность организации описывается в терминах входных ресурсов, процесса преобразования, выходных ресурсов, обратной связи и внешней среды.

Системный подход является методологией анализа и синтеза объектов природы, науки и техники, организационных и производственных комплексов как систем. Категория системы есть научный инструмент исследования объектов, процессов и управления ими.

Системный подход основывается на способе исследования объекта (процесса, явления, проблемы) как системы, состоящей из элементов, внутренних и внешних связей, существенно влияющих на результаты его функционирования, а цели каждого из элементов совпадают с общей целью системы и направлены на ее достижение.

Системный подход – это такое направление методологии научного познания и практической деятельности, в основе которого лежит исследование любого объекта как сложной целостной системы [33].

К основным принципам системного подхода относятся [83]:

- *принцип конечности цели*, предполагающий абсолютный приоритет конечной (главной) цели;
- *принцип целостности*, рассматривающий систему как единое целое и как подсистему для вышестоящих уровней;
- *принцип иерархичности строения*, т.е. наличие некоторого множества элементов, когда обеспечивается правило подчинения элементов низшего уровня – элементам высшего уровня. Этот принцип хорошо реализуется в любой организации, представляющей собой взаимодействие двух подсистем: управляющей и управляемой;

– *принцип структуризации*, дающий возможность проводить анализ элементов системы и их взаимосвязи в рамках конкретной организационной структуры;

– *принцип развития*, учитывающий изменяемость системы, а также ее способность к развитию, расширению, замене частей, накоплению информации.

– *принцип неопределенности*, учитывающий факторы неопределенности и случайности в системе;

– *принцип множественности*, дающий возможность использовать множество моделей для описания отдельных элементов и системы в целом.

Основой применения системного подхода являются *анализ*, т.е. рассмотрение целого как совокупности составляющих его отдельных элементов и *синтез*, объединяющий отдельные его элементы в сложное целое.

Для обеспечения безопасности различных систем системный подход необходим для понимания того, как элементы системы функционируют и взаимодействуют друг с другом.

Обеспечение авиационной безопасности в аэропорту на сегодняшний день является важнейшей задачей его администрации и службы авиационной безопасности.

Выводы по главе 1

1. Воздушный транспорт России является важнейшим динамично развивающимся элементом транспортного комплекса страны. Прогнозируемые на период до 2030 года темпы его развития будут значительно опережать мировые показатели.

2. Для удовлетворения растущих потребностей в воздушных перевозках пассажиров и грузов, повышения качества их обслуживания необходимо постоянное совершенствование транспортных технологий. Дальнейшее совершенствование транспортных технологий неизбежно приводит к увеличению

сложности транспортных систем, транспортных инфраструктур, а также к расширению спектра потенциальных угроз безопасности на транспорте.

3. Защита аэропорта от актов незаконного вмешательства в его деятельность обеспечивается системой авиационной безопасности, для которой в современных условиях требуется интеграция и совершенствование управления имеющимися силами и средствами обеспечения авиационной безопасности.

4. В процессе интеграции систем авиационной безопасности существует ряд нерешенных задач, важнейшими из которых являются:

- оптимизация организационной-технической структуры системы безопасности аэропорта;

- актуализация комплекса технических средств обеспечения авиационной безопасности, работающих на новых физических принципах с учетом достижений современной науки и техники;

- необходимость изучения и учета влияния «человеческого фактора» при разработке технологических процессов обеспечения безопасности воздушных перевозок.

5. Одним из важнейших направлений повышения уровня безопасности воздушных перевозок является создание системы управления авиационной безопасностью авиапредприятия, на основе научно-обоснованных методик количественной оценки качества процессов обеспечения авиационной безопасности.

Таким образом, для гарантированного обеспечения требуемого уровня защищенности аэропорта от АНВ, нужен упорядоченный системный подход. Этот подход должен включать необходимые организационные структуры, разграниченные сферы ответственности, политику, процедуры, оптимальную укомплектованность техническими средствами обеспечения АБ, научно обоснованные методы и методики количественной оценки качества выполняемых операционных процессов по обеспечению АБ, т.е. создание и организацию эффективного функционирования системы управления авиационной безопасностью аэропорта.

Формализованную постановку задачи исследования целесообразно представить целевой функцией управления процессом досмотра багажа в интересах обеспечения авиационной безопасности в виде:

$$V = F\{X, Y, K, D\}, \quad (1.4)$$

где V – показатель эффективности системы досмотра (степень соответствия ее предназначению);

X – множество параметров и характеристик, характеризующих технические системы и средства досмотра, а также квалификацию операторов;

Y – множество условий функционирования средств контроля, обеспечивающих влияние на достижение $F\{\bullet\}$;

K – критерий оптимизации системы досмотра;

D – система ограничений и допущений, принятых при исследовании.

Следовательно, путем варьирования переменных (X, Y) необходимо определить такое их сочетание (X^*, Y^*) , которое определяет оптимум критерия оптимизации K в смысле $K_{opt} \equiv \max P_{обн}$ в условиях заданных ограничений и допущений D , где $P_{обн}$ – вероятность обнаружения запрещенных к перевозке предметов (веществ).

ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПУНКТА ДОСМОТРА В АЭРОПОРТУ

2.1 Система управления авиационной безопасностью аэропорта и организация процесса досмотра в аэропорту

Повышение уровня обеспечения авиационной безопасности ГА является одной из главных целей государственной политики Российской Федерации.

В настоящее время на авиационных предприятиях ГА в соответствии с рекомендациями ИКАО, с требованиями системы соответствующих руководящих документов международного, федерального, отраслевого и объектового уровней разрабатывается, внедряется и совершенствуется интегрированная система обеспечения безопасности всего процесса авиаперевозок.

Для качественного решения, стоящих перед авиапредприятием закономерно усложняющихся задач в области авиационной безопасности, необходимо создание эффективной системы управления авиационной безопасностью (СУАБ).

Создание и реализация СУАБ позволят внедрить в повседневную деятельность службы АВ проактивную практику обеспечения безопасности воздушных перевозок вместо более традиционных реагирующих процедур. СУАБ должна разрабатываться на основе существующих процедур и практики, с тем, чтобы принять к использованию стандарты "передовой практики".

Вследствие этого СУАБ должна [72]:

- повышать уровень культуры безопасности;
- содействовать применению к управлению безопасностью подхода, основанного на оценке угрозы;
- делать акцент на эффективность деятельности, результаты и последствия;
- содействовать эффективному внутреннему и внешнему партнерству, взаимодействию и сотрудничеству.

В наши дни, особенно с учетом проведения СВО, потенциальные угрозы совершения АНВ в деятельность гражданской авиации, к сожалению, сохраняются, возникают все новые вызовы и способы их осуществления.

Современная концепция управления безопасностью опасных производств, к которым относится и воздушный транспорт, основывается на том, что только лишь соблюдение установленных правил не является достаточным условием. Для этого необходимо глубоко исследовать условия производственной деятельности, выявлять сопутствующие ей опасности, принимать необходимые и достаточные меры по снижению связанных с ними рисков до приемлемого уровня и поддерживать их на этом либо более низком уровне посредством непрерывного процесса выявления опасностей и контроля рисков [3, 24, 84].

Данная концепция отражена в предложенной ИКАО системе управления безопасностью полетов. Ее целесообразно использовать и для управления АБ. Применительно к авиапредприятию ее воплощение достигается путем ввода в традиционный процесс управления безопасностью двух дополнительных процессов – управления рисками безопасности и обеспечения безопасности (рисунок 2.1).

Любое управление связано с циклическим процессом формирования и оказания воздействия на объекты управления с целью изменения их поведения в нужном направлении. Следовательно, для осуществления управления в некоторой системе необходимо наличие объектов, вырабатывающих такие воздействия, а также объектов, на которые эти воздействия оказываются. Поэтому в любой системе управления можно выделить в качестве подсистем две системы – управляемую и управляющую [52].

Система управления представляет собой систему, целесообразное (целенаправленное) поведение которой обеспечивается путем формирования соответствующих воздействий и применения этих воздействий к элементам системы.



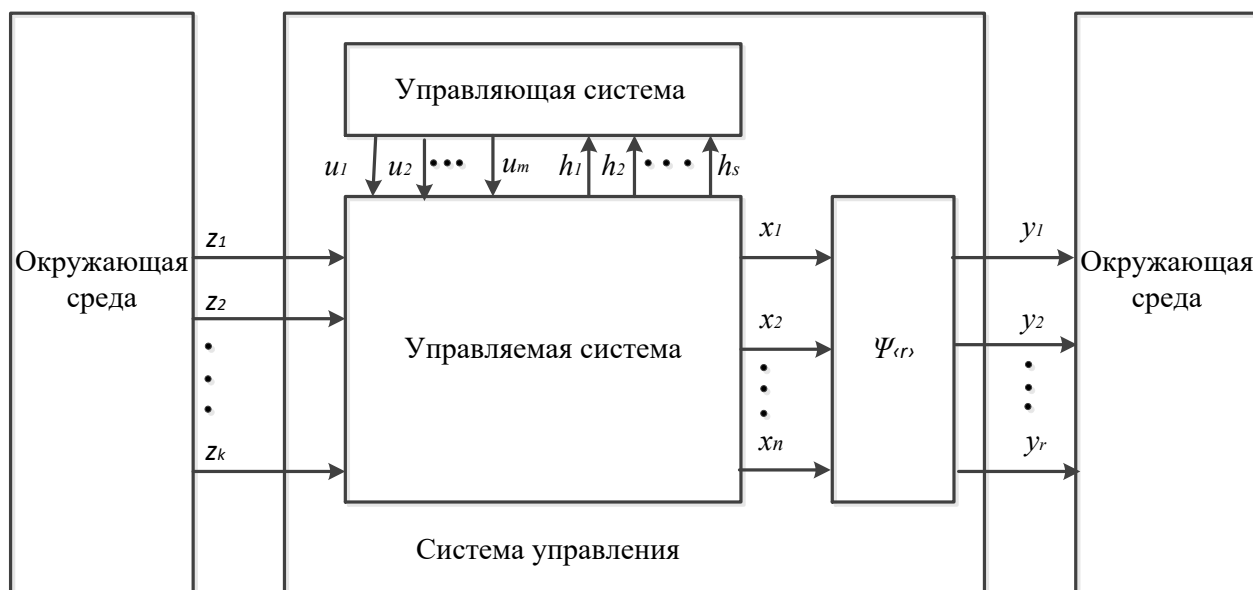
Рисунок 2.1 – Современный подход к системе управления АВ

Управляемая система представляет собой подсистему системы управления, состоящую из объектов, на которые оказывается воздействие для обеспечения целесообразного поведения системы управления.

Структурная схема системы управления, состоящей из управляющей и управляемой систем, приведена на рисунке 2.2 [53].

Авиапредприятия сильно различаются по масштабу и сложности их производственной деятельности. В каждом авиапредприятии имеется своя многоуровневая система управления видами деятельности, включающая

многочисленные подсистемы. Решается задача интегрирования управленческих систем.



На схеме используются следующие обозначения:

$Z_{\langle k \rangle}(t) = \langle z_1(t), z_2(t), \dots, z_k(t) \rangle$ – переменные, характеризующие воздействия окружающей среды на систему управления в момент времени t ;

$U_{\langle m \rangle}(t) = \langle u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t) \rangle$ – управляющие переменные, характеризующие целенаправленные воздействия управляющей системы на управляемую систему в момент времени t ;

$X_{\langle n \rangle}(t) = \langle x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t) \rangle$ – переменные состояния, характеризующие состояния управляемой системы в момент времени t ;

$H_{\langle s \rangle}(t) = \langle h_1(t), h_2(t), \dots, h_s(t) \rangle$ – наблюдаемые переменные – те переменные состояния и выходные переменные, которые наблюдаются управляющей системой в момент времени t ;

$Y_{\langle r \rangle}(t) = \langle y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t) \rangle$ – выходные переменные, характеризующие выходную ситуацию или воздействие системы управления на окружающую среду в момент времени t .

Рисунок 2.2 – Структурная схема системы управления

Выходные переменные в общем случае связаны с переменными состояния функциональной зависимостью:

$$Y_{\langle r \rangle}(t) = \psi_{\langle r \rangle}(X_{\langle n \rangle}(t)), \quad (2.1)$$

где $\psi_{\langle r \rangle}$ – символ вектор–функции.

Аналитическое представление математической модели системы управления имеет следующий вид:

$$\begin{cases} X_{\langle n \rangle}(t) = \Phi_{\langle n \rangle}(X_{\langle n \rangle}(t_0), U_{\langle m \rangle}(t), Z_{\langle k \rangle}(t), H_{\langle s \rangle}(t), t) \\ X_{\langle n \rangle}(t) \in A(t); \\ U_{\langle m \rangle}(t) \in B(t); \\ H_{\langle s \rangle}(t) \in C(t); \\ t \in [t_0, T], \end{cases} \quad (2.2)$$

где $X_{\langle n \rangle}(t_0)$ – начальное состояние управляемой системы;

$A(t)$ – область допустимых значений векторов переменных состояния управляемой системы;

$B(t)$ – область допустимых значений векторов управляющих переменных;

$C(t)$ – область допустимых значений векторов наблюдаемых переменных.

Выражения в системе уравнений (2.2) отображают состояние системы в произвольный момент времени на интервале времени $[t_0, T]$, а совместно с выражением (2.1) – выходную ситуацию на этом же интервале времени.

Уравнение (2.1) в модели описывает функциональную зависимость вектора состояний системы от начального состояния управления, возмущений, наблюдаемости системы, времени. Первые четыре выражения в системе уравнений (2.2) в этой модели являются математической формулировкой ограничений на состояния системы, управление и наблюдаемость переменных.

К типичным системам управления авиационной организации относятся [72]:

- система менеджмента качества (СМК);
- система управления безопасностью полетов (СУБП);
- система управления авиационной безопасностью (СУАБ);
- система экологического менеджмента;

- система охраны труда;
- система управления финансовыми ресурсами;
- система управления документооборотом.

Решается задача интегрирования управленческих систем. Преимущества такой интеграции заключаются в следующем:

- уменьшается дублирование и, следовательно, снижаются затраты;
- уменьшаются общие организационные факторы риска и увеличивается рентабельность;
- находится компромиссное решение между потенциально конфликтующими целями.

В авиационной сфере безопасность определяется как «состояние, при котором возможность причинения ущерба лицам или имуществу снижена до приемлемого уровня и поддерживается на этом или более низком уровне посредством постоянного процесса выявления опасных факторов и управления факторами риска» [75].

Современный подход к решению проблемы повышения уровня АБ основывается на разработке Системы управления АБ (СУАБ) каждым авиапредприятием, основу которого составляет процесс управления риском авиационной деятельности.

На сегодняшний день в РФ в явной форме отсутствуют стандартные положения по разработке СУАБ и авиапредприятия вынуждены разрабатывать СУАБ самостоятельно. При этом из-за отсутствия общей методологии управления риском АБ, методических указаний по разработке и внедрению методов риск-менеджмента в практику управления АБ авиапредприятия, наблюдается субъективная интерпретация ряда положений Руководства по авиационной безопасности ИКАО и Воздушного законодательства РФ. Это приводит к конфликту приоритетов, нерациональному использованию ресурсов авиапредприятий, и, в конечном счете, приводит к снижению уровня АБ в ГА РФ.

Актуальность темы исследования определяется наличием ряда нерешенных научных проблем по разработке общей методологии управления риском АБ, как

общей концепции и как совокупности методов, применимых в авиапредприятиях для построения эффективной СУАБ.

Для исключения возможности попадания на борт ВС запрещенных к перевозке на воздушном транспорте предметов (веществ) и их использования для совершения АНВ необходимо обеспечить тотальный контроль всего, что поступает на борт ВС.

Досмотр членов экипажей, обслуживающего персонала, пассажиров, ручной клади, багажа, почты, грузов и бортовых запасов осуществляется для предотвращения несанкционированной доставки на борт воздушного судна оружия, боеприпасов, взрывчатых, отравляющих, легковоспламеняющихся и других веществ, которые могут использоваться для совершения акта незаконного вмешательства. При отказе пассажира от досмотра перевозчик вправе расторгнуть договор воздушной перевозки

К основным руководящим документам, регламентирующим проведение досмотра пассажиров и багажа, в том числе вещей, находящихся при пассажирах, членов экипажей ВС, авиационного персонала гражданской авиации, бортовых запасов ВС, грузов и почты в гражданской авиации РФ относятся:

- Приложение 17 ИКАО «Безопасность и защита международной гражданской авиации от АНВ», где изложены стандарты и рекомендуемая практика ИКАО [8];

- Руководство по авиационной безопасности, где изложены основные рекомендации ИКАО по организации и проведению досмотра пассажиров, их ручной клади и багажа (глава 11. Безопасность аэропорта) [72].

- Правила проведения предполетного и послеполетного досмотров. (Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 25 июля 2007 г. № 104), [58] которые разработаны на основании Федерального закона от 19 марта 1997 г. № 60-ФЗ «Воздушный кодекс Российской Федерации» [17];

- «Об утверждении Правил проведения досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра в целях обеспечения транспортной безопасности». (Приказ Минтранса России от 23.07.15 № 227) [57].

– Федеральные авиационные правила «Требования авиационной безопасности к аэропортам», утвержденные приказом Минтранса России от 28 ноября 2005 г. № 142 [69].

Каждый аэропорт должен иметь специальные помещения и технические средства для досмотра членов экипажей, обслуживающего персонала, пассажиров, ручной клади, багажа, почты, груза и бортовых запасов.

Имеющийся опыт проведения досмотров в аэропортах свидетельствует, что в интересах упрощения формальностей и сокращения количества пассажиров, подвергаемых ручному досмотру, следует на постоянной основе применять ТСД. Ручной досмотр эффективно проводить при достаточном времени, и при наличии хорошо подготовленных и квалифицированных сотрудников САБ. Однако, из-за невозможности вручную проверить некоторые изделия на наличие запрещенных к перевозке предметов (веществ), возникает необходимость в рентгеновской аппаратуре и другом оборудовании. Основными недостатками ручного способа досмотра людей и багажа являются [72]:

- необходимость сотрудничества со стороны лица при его личном досмотре или досмотре принадлежащего ему багажа;

- сложные электрические, электронные и механические приборы и устройства (например, мобильные телефоны, портативные компьютеры, фотокамеры) требуют досмотра с использованием технического оборудования, такого как рентгеновские установки или аппаратура для обнаружения частиц ВВ;

- при большом пассажиропотоке ручной досмотр может занимать много времени по сравнению с досмотром, осуществляемым с помощью технических средств;

- сильная зависимость результатов ручного досмотра от человеческих недостатков (дурные привычки, непоследовательность, утомляемость);

- для проводящего досмотр сотрудника сама процедура может быть неприятной, негигиеничной и в условиях сложившейся в последние годы эпидемиологической обстановки небезопасной.

Предполетный досмотр пассажира с использованием технических и специальных средств проводится в следующем порядке [58, 68, 72]:

- производится проверка билета, оформленного в установленном порядке, посадочного талона, сверка документа с личностью пассажира при входе в пункт досмотра;
- предлагается заявить об имеющихся у пассажира предметах и веществах, запрещенных к перевозке на борту воздушного судна, а также вещах, принятых от посторонних лиц (посылки, свертки и т.п.) для перевозки;
- предлагается выложить имеющиеся у пассажира в одежде предметы, содержащие металл (портсигары, ключи, пачки сигарет и т.п.);
- снять верхнюю одежду (пальто, куртку, плащ, пиджак, свитер, джемпер, пуловер, кофту и т.п.);
- снять головной убор, ремень, обувь и уложить все в лотки (корзины), поставить на транспортер рентгенотелевизионного интроскопа;
- предлагается пассажиру пройти через рамку стационарного металлоискателя;
- проводится досмотр содержимого багажа, в том числе вещей, находящихся при пассажире, верхней одежды (пальто, куртки, плаща, пиджака, головного убора), ремня, обуви.

При срабатывании сигнализации стационарного металлоискателя:

- уточняются места расположения металлических предметов в одежде пассажира с помощью ручного металлоискателя;
- предлагается пассажиру повторно пройти через рамку стационарного металлоискателя после извлечения и проверки металлических предметов;
- производится досмотр пассажира с помощью ручного металлоискателя и ручным (контактным) методом досмотра при повторном срабатывании сигнализации.

По просьбам авиапредприятий и эксплуатантов воздушного транспорта администрация запрашиваемого аэропорта обязана проводить дополнительные мероприятия по обеспечению безопасности: досмотр и охрану воздушных судов,

повторный досмотр пассажиров, ручной клади, багажа, почты, грузов и бортовых запасов, принадлежащих этим авиапредприятиям и эксплуатантам.

В условиях значительного увеличения объемов пассажирских перевозок на воздушном транспорте возникла необходимость повышения качества проведения предполетного досмотра. В результате проделанной в этом направлении работы появились научные разработки и внедрены в деятельность САБ современные технологии досмотра; в аэропортах стали широко использоваться системы и средства интеллектуального видеонаблюдения; новейшие технические средства проведения неразрушающего контроля для выявления у пассажиров, запрещенных к перевозке предметов и веществ.

Внедрение в повседневную практику работы служб авиационной безопасности аэропорта профайлинга, как хорошо зарекомендовавшего себя результативного метода выявления потенциально опасных пассажиров, позволит повысить качество проводимых мероприятий, направленных на защиту воздушных перевозок особенно от АНВ террористической направленности.

Также, требуется гармонизация нормативно-правовой базы и практической деятельности САБ с реализуемыми в аэропортах мерами по обеспечению авиационной (транспортной) безопасности и антитеррористической защищенности ОТИ и ТС.

Для решения существующих проблем в сфере обеспечения АБ критических элементов аэропорта целесообразно выделить в отдельное направление государственной политики по защите потенциально опасных, относящихся к высокорисковым, объектов инфраструктуры РФ, особенности обеспечения безопасности на этих элементах, определить методологию их комплексной защиты, а также соответствующие технические средства обеспечения безопасности.

2.2 Принципы моделирования динамических процессов

В настоящее время существует две категории методов исследования

динамических процессов [6, 10]: физическое моделирование и математическое моделирование.

При математическом моделировании исследование динамики функционирования процесса сопряжено с изучением поведения его математической модели [18], построенной на основе расчетной схемы исследуемого объекта, с учетом принятых ограничений и допущений [19]. Большинство математических моделей динамических процессов представляют собой систему алгебраических или дифференциальных уравнений, отражающих физические свойства процесса [79, 85].

Различают аналитическое и имитационное математическое моделирование [82, 87]. При аналитическом моделировании выход модели функционально зависит от ее входа (набора входных параметров). Однако при аналитическом моделировании решения не всегда существуют, или достаточно сложны и требуют больших трудозатрат [86].

В этих случаях используют имитационное моделирование [18, 101]. Применение метода имитационного моделирования позволяет строить модели и описывать происходящие процессы так, как они проходили бы в действительности. Такую модель можно «проиграть» во времени необходимое количество раз. При этом получаемые результаты будут определяться случайным характером процессов. Полученные в результате экспериментов данные позволяют получить достаточно устойчивую статистику. В общем случае имитационное моделирование представляет собой более мощное средство анализа. Таким образом, имитационное моделирование – это метод исследования, при котором изучаемый процесс заменяется его моделью, которая достаточно точно описывает его поведение [82].

Рациональное использование имеющихся на авиапредприятии ресурсов и эффективное управление ими для обеспечения требуемого уровня авиационной безопасности является одной из важнейших задач САБ и руководства авиапредприятия [38, 39, 53]. Математический аппарат как нельзя лучше подходит для решения этой задачи [16], так как позволяет без привлечения

дополнительных материальных средств проводить анализ системы обеспечения АБ авиапредприятия. Манипулируя моделью системы, можно получить новые знания о ней, избегая опасности, дороговизну или неудобства анализа самой реальной системы [43]. Для обеспечения необходимого соответствия между моделью и реальными условиями применяется экспериментирование на реальной системе, которое устраняет многие затруднения. Однако, проведение натурных экспериментов сопряжено со значительными недостатками, такими как [40]:

- нарушение установленного порядка работы объекта;
- влияние в эргатических системах на результаты экспериментов так называемого хоторнского эффекта, проявляющегося в изменении поведения людей, чувствующих за собой наблюдение;
- сложность поддержания неизменных рабочих условий при повторении экспериментов;
- большие затраты времени и средств для получения необходимой точности статистических данных;
- не всегда имеется возможность исследования множества альтернативных вариантов.

Любая система может быть представлена совокупностью переменных состояний. Конкретное состояние системы описывается определенной комбинацией этих переменных. Переход системы из одного состояния в другое можно имитировать изменением значений этих переменных. Следовательно, выполнением необходимой последовательности переходов системы от одного состояния к другому по определенным правилам можно осуществить ее имитационное моделирование, то есть динамически отобразить изменение ее состояний во времени, которое может быть непрерывным или дискретным.

Для проведения имитационного моделирования параллельных событий реальной системы используется модельное время, механизм реализации которого встроен в системы моделирования (управляющие программы). При этом имитационные модели подразделяют на непрерывные, дискретные и непрерывно-дискретные.

Для описания состояния моделируемой системы в непрерывных имитационных моделях используются непрерывные функции времени (системы дифференциальных уравнений).

Для дискретных имитационных моделей характерно изменение переменных состояний в фиксированные моменты времени, связанные с наступлением определенных событий.

Для имитационного моделирования реальных сложных динамических систем, где возможность разделения непрерывных и дискретных процессов сильно ограничена или отсутствует были разработаны непрерывно-дискретные модели, представляющих собой комбинацию механизмов отображения времени, характерных для непрерывных и дискретных имитационных моделей.

Применение метода имитационного моделирования значительно облегчает решение задач высокой сложности, так как позволяет обеспечивать имитацию поведения сложных и многообразных процессов, содержащих большое количество элементов.

Проведение имитационного моделирования также эффективно для исследования стохастических систем, которые подвержены влиянию многочисленных случайных факторов различной природы. Оно позволяет проводить исследование в условиях недостаточных или неполных данных, то есть в условиях неопределенности. При этом создание модели происходит поэтапно, эволюционно.

Таким образом, применение инструмента имитационного моделирования наиболее эффективно для исследования динамических непрерывных и дискретных недетерминированных систем, в том числе для динамических дискретных систем с временными задержками.

Как правило, погрешность результатов, полученных при имитационном моделировании какой-либо системы меньше, чем погрешность результатов аналитического моделирования той же системы на величину до 10 процентов.

2.3 Обоснование возможностей и особенности применения аппарата сетей Петри для моделирования технологического процесса досмотра в аэропорту

Познание окружающего нас мира характеризуется большим многообразием форм и методов [16], основанных всего лишь на двух уровнях познания: теоретическом и эмпирическом. Теоретическое познание опирается на логические умозаключения и математические расчёты, а эмпирическое познание основывается на взаимодействии с изучаемым объектом. Эмпирическое познание в научном мире заключается в получении информации об исследуемых объектах и явлениях с помощью экспериментов и наблюдений.

Для формализованного описания процессов, происходящих в дискретных динамических системах, имеющих самую различную природу, широко применяются абстракции: условия, события, причинно-следственные связи и другие. При сопоставлении абстракций и установленных графических примитивов, а также при наличии линий, которые связывают их в соответствии с конкретной заданной логикой, получается граф процесса, т.е. некая определенная сеть.

Сеть представляет собой графический образ процесса. Применяемые абстракции в сетевых методах описания процессов и их анализа достаточно близки к интуитивным представлениям о реальных процессах. В качестве примера можно привести сети Петри или N-схемы. Сети Петри представляют собой математический аппарат для моделирования асинхронных динамических дискретных систем самой различной природы. Этот математический аппарат впервые предложил и описал Карл Адам Петри в 1962 г. Сети Петри – графические модели получили дальнейшее развитие из-за удачного представления различных типов объектов, которые присутствуют во многих моделируемых системах. Для их моделирования используется событийный подход. С помощью них легко описывать взаимосвязанные и взаимодействующие параллельно работающие процессы. Их возможности, позволяющие описывать многие классы дискретных, асинхронных, параллельных, распределенных,

недетерминированных систем, а также из-за наглядности пространственно-временного отображения их работы, с учетом развитого математического и программного аппарата анализа сети Петри превратились в мощный инструмент для исследования большого количества моделируемых систем самой различной природы. Сети Петри являются практически идеальным инструментом для моделирования синхронно происходящих и независимых событий в различных областях применения. В зависимости от способов задания элементов и связей в сети существует несколько формальных определений сети Петри. Проведение анализа сетей Петри обеспечивает получение важной информации о структуре моделируемой системы, ее динамическом поведении и логико-временных особенностях процессов ее функционирования. Эта информация важна для оценки моделируемой системы и выработки предложений по ее совершенствованию и изменению. В результате анализа становится известно, какие действия происходят, какие состояния им предшествовали, и какие состояния примет система после выполнения определенных действий, в каких состояниях находилась или не находилась система, какие состояния в принципе недостижимы. В сетях Петри отсутствует строгое понятие процесса, нет однозначной последовательности исполнения сети. Это позволяет гибко использовать данный формализм для отображения и анализа причинно-следственных связей в самых разнообразных процессах, происходящих в дискретных динамических системах различной природы. Поведение системы описывается выполнением событийной модели. Сеть Петри адекватно отображает и моделирует некоторую структуру и динамику ее пространственно-временного функционирования. В настоящее время определены и изучены разнообразные классы сетей Петри. Сеть Петри состоит из четырех базовых элементов: позиции, переходы, дуги и метки (фишки или маркеры). Позиция отображает состояние, в котором находится система или определенная ее часть. Текущее состояние сети Петри характеризуется неупорядоченным набором позиций. Каждой позиции сети ставится в соответствие некоторое натуральное число, которое указывает какое количество фишек в этой позиции. Данное число называют разметкой позиции, а

совокупность таких чисел для всех позиций сети называют разметкой сети. Позиция может и не содержать фишек, т.е. иметь нулевую разметку. Процесс перераспределения фишек называется выполнением сети Петри. Позиции и переходы соединены направленными дугами, каждая из которых имеет свой вес. Дуги бывают двух типов: дуги, направленные от позиции к переходам и дуги, направленные от переходов к позициям. При срабатывании перехода фишка удаляется из каждой его входной позиции и появляется в каждой выходной позиции. Срабатывание перехода происходит мгновенно. Если одновременно активны два или более переходов, то срабатывает только один из них (одновременное срабатывание двух переходов в сетях Петри не допускается). Выбор запускаемого перехода осуществляется случайно, в этом смысле сети Петри – недетерминированная модель. Помимо недетерминированности сеть Петри характеризуется асинхронностью, так как она работает не в физическом, а в логическом (дискретном) времени, определяемом частичной упорядоченностью событий (переходов). Для детерминизации сетей Петри дополнительно привлекают механизм выбора, т.е. вводится управление сетью [12, 121].

Эффективное функционирование любой организации зависит от оперативного принятия управленческих решений всеми руководителями, специалистами различных областей деятельности и уровня компетентности [54, 60]. От качества, своевременности и общей направленности принимаемых решений зависит развитие и результативность организации. В настоящее время сети Петри применяются для моделирования процесса получения информации о параметрах управляемой системы, анализа данных, информирования ответственных лиц и инициации управленческого решения. При этом учитывается параллельность и асинхронность принимаемых решений, а также их вероятностный характер. Процесс управления организацией характеризуется нелинейностью и сложностью [121]. Для сохранения заданного вектора направленности развития организации требуется регулярный внутренний контроль. Для этих целей также хорошо подходят сети Петри. С их помощью

возможно получение необходимых данных для принятия управленческих решений.

Для дальнейшего совершенствования процесса досмотра багажа и получения необходимых характеристик процесса его функционирования важно иметь его математическую модель.

Одним из известных методов исследования сложных организационно-технических систем является их формализованное представление в виде сетей Петри. Математический аппарат сетей Петри и их применение в моделировании подробно описаны в [42, 63].

Сети Петри - математический аппарат для моделирования динамических дискретных параллельных систем. Сеть Петри структурно представляет собой двудольный ориентированный мультиграф, состоящий из вершин двух типов - позиций и переходов, соединённых между собой дугами, вершины одного типа не могут быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети. В сетях Петри, как правило, условия отображаются позициями, а события – переходами. Последовательная реализация событий в моделируемой системе отображается в сети Петри в виде последовательного срабатывания ее переходов. Переход разрешен (возбужден), если в каждой из его входных позиций находятся фишки в количестве не меньше, чем число дуг, соединяющих эту позицию с данным переходом. Из множества разрешенных переходов срабатывает произвольный переход. Для управления последовательностью срабатывания переходов вводятся приоритеты. При срабатывании перехода из всех его входных позиций удаляются фишки с учетом кратности дуг и помещаются в выходные позиции (с учетом кратности дуг). Принято, что срабатывание перехода происходит мгновенно. Для повышения производительной мощности сетей Петри используются их модификации. Иерархические временные цветные сети Петри являются универсальной алгоритмической системой. Именно эти сети позволяют моделировать любой произвольный объект или систему любой сложности [12].

Данный математический аппарат позволяет формировать адекватные модели сложных систем и разрабатывать оптимальные алгоритмы решения задач по совершенствованию процесса их функционирования.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время аппарат сетей Петри находит широкое применение в различных сферах деятельности. Так временные сети Петри применяются для определения «узких мест» в процессе производства продукции на предприятиях для повышения его эффективности [114]; динамические цветные сети Петри используются для управления воздушным движением в целях обеспечения безопасности полетов для определения риска столкновения самолетов на пересечении двух конвергентных взлетно-посадочных полос [118] и проведения диагностики различных объектов [120]. Они также используются для моделирования в реальном времени, критически важных для безопасности систем с пространственно-временным распределением ресурсов [131]. Стохастические сети Петри применяются для моделирования и анализа комплексных сценариев аварий на объектах [122]. Аппарат модернизированных сетей Петри в качестве графических и математических инструментов широко используется для описания и исследования систем обработки информации [123], для выбора альтернативных маршрутов движения в крупномасштабных транспортных транзитных системах перевозки грузов [116], а также для моделирования надежности различных систем [117, 130].

2.4 Моделирование процесса предполетного досмотра с помощью аппарата сетей Петри

Сеть Петри, моделирующая процесс проведения предполетного досмотра пассажиров, их ручной клади и багажа [106] представлена на рисунке 2.2.

Данная обобщенная маркированная сеть Петри представляет собой упорядоченную пятерку и аналитически может быть записана в следующем виде [42, 45]:

$$C = (P, T, I, O, m_0), \quad (2.3)$$

где P – непустое конечное множество позиций; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{28}\}$;

T – непустое конечное множество переходов; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{23}\}$; (множества P и T не пересекаются $P \cap T = \emptyset$);

$I : P \times T \rightarrow N_0$ – входная функция переходов;

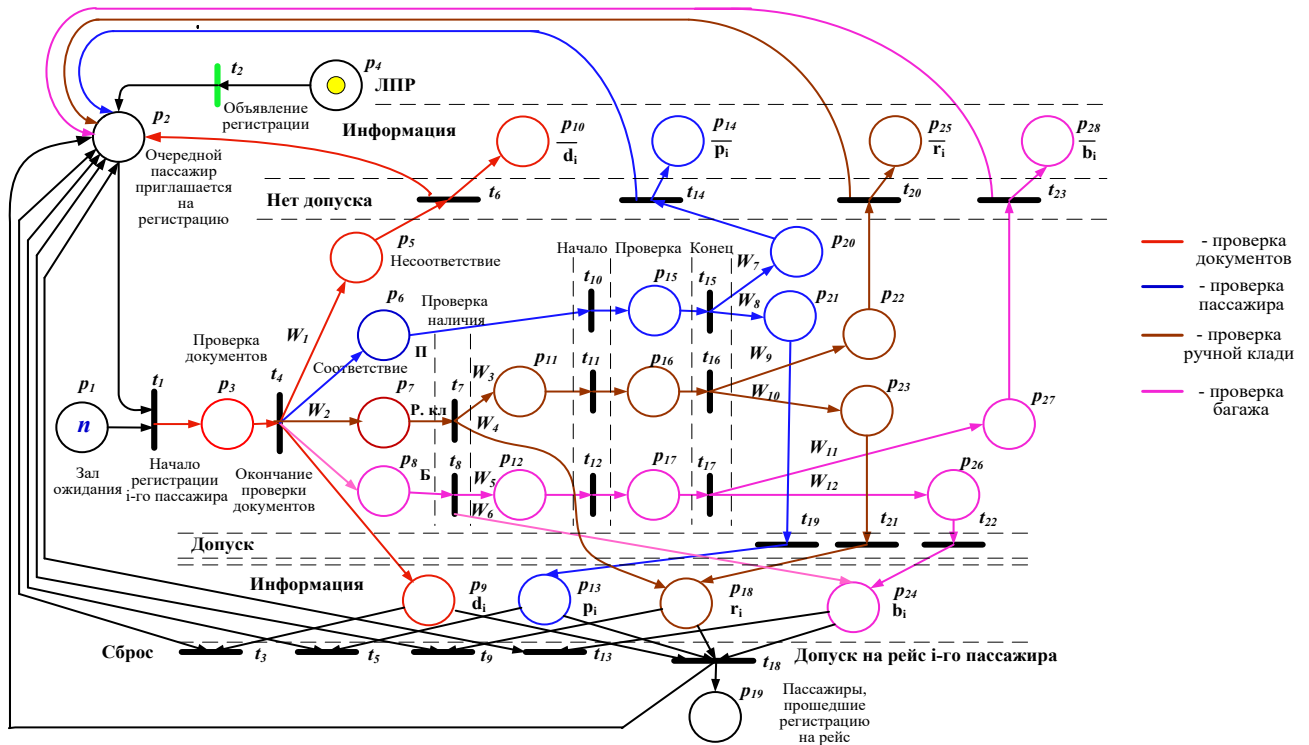


Рисунок 2.2 – Сеть Петри, моделирующая процесс предполетного досмотра

$$\begin{aligned}
 I(t_1) &= \{p_1, p_2\}; I(t_2) = \{p_4\}; I(t_3) = \{p_2, p_9\}; I(t_4) = \{p_3\}; I(t_5) = \{p_2, p_{13}\}; \\
 I(t_6) &= \{p_5\}; I(t_7) = \{p_7\}; I(t_8) = \{p_8\}; I(t_9) = \{p_2, p_{18}\}; I(t_{10}) = \{p_6\}; \\
 I(t_{11}) &= \{p_{11}\}; I(t_{12}) = \{p_{12}\}; I(t_{13}) = \{p_2, p_{24}\}; I(t_{14}) = \{p_{20}\}; \\
 I(t_{15}) &= \{p_{15}\}; I(t_{16}) = \{p_{16}\}; I(t_{17}) = \{p_{17}\}; I(t_{18}) = \{p_9, p_{13}, p_{18}, p_{24}\}; \\
 I(t_{19}) &= \{p_{21}\}; I(t_{20}) = \{p_{22}\}; I(t_{21}) = \{p_{23}\}; I(t_{22}) = \{p_{26}\}; I(t_{23}) = \{p_{27}\};
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

$O : T \times P \rightarrow N_0$ – выходная функция переходов;

$$\begin{aligned}
 O(t_1) &= \{p_3\}; O(t_2) = \{p_2\}; O(t_4) = \{p_5, p_6, p_7, p_8, p_9\}; O(t_6) = \{p_2, p_{10}\}; \\
 O(t_7) &= \{p_{11}, p_{18}\}; O(t_8) = \{p_{12}, p_{24}\}; O(t_{10}) = \{p_{15}\}; O(t_{11}) = \{p_{16}\}; O(t_{12}) = \{p_{17}\}; \\
 O(t_{14}) &= \{p_2, p_{14}\}; O(t_{15}) = \{p_{20}, p_{21}\}; O(t_{16}) = \{p_{22}, p_{23}\}; O(t_{17}) = \{p_{26}, p_{27}\}; \\
 O(t_{18}) &= \{p_2, p_{19}\}; O(t_{19}) = \{p_{13}\}; O(t_{20}) = \{p_2, p_{25}\}; O(t_{21}) = \{p_{18}\}; O(t_{22}) = \{p_{24}\};
 \end{aligned}$$

$$O(t_{23}) = \{p_2, p_{28}\}; \quad (2.5)$$

m_0 – начальная маркировка сети;

$N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$ – множество натуральных чисел и ноль.

Следующая маркировка для данной сети Петри является начальной:

$m_0 = \{n, 0, 0, 1, 0\}$; – что соответствует нахождению n фишек в позиции p_1 (пассажиры, приобретшие билеты на данный рейс и находящиеся в зале ожидания) и 1 фишка в позиции p_4 – администрация аэропорта (ЛПР) приняла решение об отправке очередного рейса по запланированному маршруту: рейс запланирован, ВС готово, метеоусловия соответствуют.

На основании требований руководящих документов [57, 58] все пассажиры допускаются на рейс после прохождения предполетного досмотра.

В ходе досмотра в целях обеспечения транспортной (авиационной) безопасности осуществляются мероприятия по обследованию физических лиц, а также транспортных средств, грузов, багажа, ручной клади и личных вещей, находящихся у физических лиц, и иных материальных объектов живой или неживой природы (далее - объекты досмотра), в целях обнаружения оружия, взрывчатых веществ или других устройств, предметов и веществ, в отношении которых установлен запрет или ограничение на перемещение в зону транспортной безопасности или ее часть [57].

Пассажир допускается на рейс, если по всем проверяемым атрибутам (« d_i – документы», « p_i – пассажир», « r_i – ручная кладь» и « b_i – багаж») он получает допуск. Пассажир не допускается на рейс, если хотя бы по одному из проверяемых атрибутов он не соответствует требованиям АБ. При этом под несоответствием понимаются недостатки, которые не могут быть устранены в ходе проверки, а также, если у пассажира, в его ручной клади или в багаже при проведении досмотра обнаружены запрещенные к перевозке предметы (вещества), которые могут использоваться для совершения АНВ.

Моделирующая процесс досмотра сеть Петри работает следующим образом. При заданной начальной маркировке сети переход t_2 становится разрешенным. При его срабатывании, что соответствует объявлению регистрации на рейс, фишка из позиции p_4 убирается, а одна фишка появляется в позиции p_2 . Это соответствует приглашению пассажиров к стойке (стойкам) регистрации. Становится разрешенным переход t_1 . При его срабатывании, что соответствует началу регистрации i -го пассажира, по одной фишке удаляется из позиций p_1, p_2 , а одна фишка помещается в позицию p_3 . Это соответствует процессу проверки документов у очередного пассажира. Становится разрешенным переход t_4 , соответствующий окончанию проверки документов у очередного пассажира и принятию решения о соответствии или несоответствии документов требованиям АБ для перевозки. При срабатывании перехода t_4 фишка из позиции p_3 убирается и либо одна фишка с вероятностью W_1 появляется в позиции p_5 (документы не соответствуют требованиям АБ), либо по одной фишке с вероятностью W_2 (документы соответствуют требованиям АБ) помещается в позиции p_6, p_7, p_8, p_9 . При этом $W_1 + W_2 = 1$. Если фишка появилась в позиции p_5 (документы не соответствуют требованиям АБ), то разрешенным становится переход t_6 . При его срабатывании, что соответствует отказу в допуске пассажира на рейс по причине несоответствия документов, фишка убирается из позиции p_5 и по одной фишке появляется в позициях p_{10} (собирается информация о не допущенных на рейс пассажирах из-за несоответствия документов требованиям АБ) и p_2 (следующий пассажир приглашается на регистрацию). При появлении по одной фишки в позициях p_6, p_7, p_8 , что соответствует необходимости продолжения проверки по атрибутам « p_i – пассажир», « r_i – ручная кладь» и « b_i – багаж», разрешенными становятся переходы t_{10}, t_7, t_8 соответственно. Появление фишки в позиции p_9 означает, что очередной пассажир по атрибуту « d_i – документы» может быть допущен на рейс (отображается информация о ходе досмотра i -го пассажира – документы соответствуют требованиям АБ).

Срабатывание перехода t_7 означает проверку наличия у пассажира ручной клади. При этом одна фишка убирается из позиции p_7 и если у пассажира с

вероятностью W_4 отсутствует ручная кладь, то одна фишка появляется в позиции p_{18} (отображается информация о ходе досмотра i -го пассажира, к которому нет претензий по атрибуту « r_i – ручная кладь»). Если же у пассажира с вероятностью W_3 имеется ручная кладь, одна фишка появляется в позиции p_{11} , что соответствует требованию к пассажиру предоставить ее на досмотр. При этом $W_3 + W_4 = 1$. Наличие фишки в позиции p_{11} делает разрешенным переход t_{11} , его срабатывание соответствует началу проверки ручной клади. При этом фишка убирается из позиции p_{11} , и одна фишка появляется в позиции p_{16} , что соответствует процессу проверки ручной клади и делает разрешенным переход t_{16} , срабатывание которого означает окончание проверки и принятие решения о соответствии или несоответствии ручной клади требованиям АБ для перевозки. При срабатывании перехода t_{16} фишка убирается из позиции p_{16} и, либо одна фишка с вероятностью W_9 появляется в позиции p_{22} (ручная кладь не соответствует требованиям АБ), либо одна фишка с вероятностью W_{10} помещаются в позицию p_{23} (ручная кладь соответствует требованиям АБ). При этом $W_9 + W_{10} = 1$. Если фишка появилась в позиции p_{22} (ручная кладь не соответствует требованиям АБ), то разрешенным становится переход t_{20} . При его срабатывании, что означает отказ в допуске пассажира на рейс по причине несоответствия ручной клади требованиям АБ, фишка убирается из позиции p_{22} и по одной фишке появляется в позициях p_{25} (собирается информация о не допущенных на рейс пассажирах из-за несоответствия ручной клади требованиям АБ) и p_2 (следующий пассажир приглашается на регистрацию). Если фишка появилась в позиции p_{23} (ручная кладь соответствует требованиям АБ), то становится разрешенным переход t_{21} . При срабатывании перехода t_{21} (допуск на рейс по атрибуту « r_i – ручная кладь») одна фишка из позиции p_{23} убирается, и одна фишка появляется в позиции p_{18} (собирается информация о пассажире, к которому нет претензий по атрибуту « r_i – ручная кладь»).

Аналогично срабатывание перехода t_8 соответствует проверки наличия у пассажира багажа. При этом одна фишка убирается из позиции p_8 . Если у пассажира с вероятностью W_6 отсутствует багаж, то одна фишка появляется в

позиции p_{24} (собирается информация о проверяемом пассажире, к которому нет претензий по атрибуту « b_i – багаж»). Если же у пассажира с вероятностью W_5 имеется багаж, одна фишка появляется в позиции p_{12} , что соответствует требованию к пассажиру предоставить его на досмотр. При этом $W_5 + W_6 = 1$. Наличие фишки в позиции p_{12} делает разрешенным переход t_{12} , его срабатывание соответствует началу проверки багажа. При этом фишка убирается из позиции p_{12} и одна фишка появляется в позиции p_{17} . Это соответствует процессу проверки багажа и делает разрешенным переход t_{17} . Его срабатывание соответствует окончанию проверки и принятию решения о соответствии или несоответствии багажа требованиям АБ для перевозки. При срабатывании перехода t_{17} фишка убирается из позиции p_{17} и либо одна фишка с вероятностью W_{11} появляется в позиции p_{27} (багаж не соответствует требованиям АБ), либо одна фишка с вероятностью W_{12} помещаются в позицию p_{26} (багаж соответствует требованиям АБ). При этом $W_{11} + W_{12} = 1$. Если фишка появилась в позиции p_{27} (багаж не соответствует требованиям АБ), то разрешенным становится переход t_{23} . При его срабатывании, что соответствует отказу в допуске пассажира на рейс по причине несоответствия багажа требованиям АБ, фишка убирается из позиции p_{27} и по одной фишке появляется в позициях p_{28} (собирается информация о не допущенных на рейс пассажирах из-за несоответствия багажа требованиям АБ) и p_2 (следующий пассажир приглашается на регистрацию). Если фишка появилась в позиции p_{26} (багаж соответствует требованиям АБ), то становятся разрешенным переход t_{22} . При срабатывании перехода t_{22} (допуск на рейс по атрибуту « b_i - багаж») одна фишка из позиции p_{26} убирается, и одна фишка появляется в позиции p_{24} (собирается информация о пассажире, к которому нет претензий по атрибуту « b_i – багаж»).

Срабатывание перехода t_{10} означает начало проверки самого пассажира и его одежды. При этом одна фишка убирается из позиции p_6 , и одна фишка помещается в позицию p_{15} , что соответствует процессу проверки самого пассажира и его одежды. Наличие фишки в позиции p_{15} делает разрешенным переход t_{15} , его срабатывание означает окончание проверки и принятие решения о

соответствии или не соответствии пассажира и его одежды требованиям АБ для перевозки. При срабатывании перехода t_{15} фишка убирается из позиции p_{15} и либо одна фишка с вероятностью W_7 появляется в позиции p_{20} (пассажир и/или его одежда не соответствуют требованиям АБ), либо одна фишка с вероятностью W_8 помещается в позицию p_{21} (пассажир и его одежда соответствуют требованиям АБ). При этом $W_7 + W_8 = 1$. Если фишка появилась в позиции p_{20} (пассажир и/или его одежда не соответствуют требованиям АБ), то разрешенным становится переход t_{14} . При его срабатывании, что означает отказ в допуске пассажира на рейс по причине несоответствия пассажира и/или его одежды требованиям АБ, фишка убирается из позиции p_{20} и по одной фишке появляется в позициях p_{14} (собирается информация о не допущенных на рейс пассажирах из-за несоответствия пассажира и/или его одежды требованиям АБ) и p_2 (следующий пассажир приглашается на регистрацию). Если фишка появилась в позиции p_{21} (пассажир и его одежда соответствуют требованиям АБ), то становится разрешенным переход t_{19} . При срабатывании перехода t_{19} (допуск на рейс по атрибуту « p_i – пассажир») одна фишка из позиции p_{21} убирается, и одна фишка появляется в позиции p_{13} (собирается информация о пассажире, допущенном на рейс по атрибуту « p_i – пассажир»).

Таким образом, чтобы пассажир был допущен на рейс необходимо, чтобы в позициях $p_9, p_{13}, p_{18}, p_{24}$ было по одной фишке. При этом становится разрешенным переход t_{18} , соответствующий допуску на рейс проверенного (i -го) пассажира. При его срабатывании по одной фишке убираются из позиций $p_9, p_{13}, p_{18}, p_{24}$ и одна фишка появляется в позиции p_{19} , где количество фишек будет соответствовать количеству пассажиров, прошедших регистрацию и допущенных на данный рейс. Переходы t_3, t_5, t_9, t_{13} соответствуют сбросу информации об атрибутах проверяемого пассажира, если по одному из них пассажир не будет допущен на рейс. Какие из этих переходов будут срабатывать, зависит от того, какие из атрибутов были проверены и по какому из атрибутов пассажир получил отказ в допуске. При этом для срабатывания перехода t_3 необходимо наличия фишки в позициях p_9 и p_2 , перехода t_5 – в позициях p_{13} и p_2 , перехода t_9 – в

позициях p_{18} и p_2 , перехода t_{13} – в позициях p_{24} и p_2 . При срабатывании переходов t_3, t_5, t_9, t_{13} фишки убираются из позиций $p_9, p_{13}, p_{18}, p_{24}$ соответственно. При срабатывании этих переходов в позиции p_2 фишка не убывает, так как эта позиция соединена с переходами двунаправленными дугами.

2.5 Моделирование процесса досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки с помощью аппарата сетей Петри

Совершенство системы досмотра багажа определяется ее качеством, которое определяется некоторым количеством соответствующих показателей (в том числе показателем эффективности), величины которых выбираются по определенным критериям [44].

Наибольшей эффективности процесса досмотра, перевозимого в грузовом отсеке багажа можно достигнуть при комплексном применении технических средств, основанных на новейших технологиях: автоматизированных рентгеновских систем высокой пропускной способности, систем для обнаружения взрывчатых веществ (СОВВ), систем для обнаружения взрывных устройств (СОВУ) или других усовершенствованных технических средств [37, 72].

Для разработки структуры многоуровневой системы досмотра багажа применяется классическая задача синтеза [39, 96]:

Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ – множество технических систем и средств досмотра, а также операторов, участвующих в проведении досмотра багажа в аэропорту (k – число уровней досмотра); $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – множество условий (вариантов) функционирования системы досмотра багажа в аэропорту; $Q: X \times Y \rightarrow R$, (где R – множество вещественных чисел) – функционал, определяющий значение $Q\{x, y\}$ обобщенного (интегрального) показателя эффективности (ОПЭ) процесса досмотра багажа (вероятность обнаружения запрещенных к перевозке предметов и/или веществ – $P_{обн}^i$, на i -ом уровне досмотра, где $i = 1, 2, \dots, k$) в аэропорту для любых элементов $x \in X$ и $y \in Y$.

При заданном элементе $y_0 \in Y$, определяющем (конкретизирующем) условия функционирования системы досмотра багажа необходимо максимизировать ОПЭ $Q\{x, y_j\}$ для конкретных условий $y = y_0$ функционирования системы досмотра багажа элементами $x \in X$, т. е. $Q\{x, y_0\} \rightarrow \max$. При этом решением будет множество $x_\varepsilon(x, y_0)$ ε -оптимальных систем $x_\varepsilon(\varepsilon \geq 0)$, определяемое выражением:

$$x_\varepsilon \in x_\varepsilon(x, y_0) \Leftrightarrow Q(x, y) \leq Q(x_\varepsilon, y_0) + \varepsilon, \quad (2.6)$$

Для использования многоуровневого процесса досмотра, ИКАО рекомендовано руководствоваться следующими общими принципами [72, 107]:

- а) число уровней досмотра должно быть минимальным ($k \rightarrow \min$);
- б) полученную в процессе досмотра информацию следует передавать с одного уровня на другой;
- в) каждый последующий уровень досмотра должен быть более качественным и эффективным за счет проведения более тщательной, качественной и/или скрупулёзной проверки ($P_{обн}^i > P_{обн}^{i-1}$ и $t_i > t_{i-1}$, где t_i – время досмотра багажа на i -ом уровне досмотра);
- г) процесс досмотра всегда должен быть «безотказным»;
- д) если проверка багажа на любом уровне не даёт удовлетворительных результатов, его следует направить на следующий, более высокий уровень для дополнительной проверки с целью выяснения причин обнаруженной проблемы;
- е) если статус предмета багажа остаётся неопределённым, данный багаж следует рассматривать как не прошедший проверку и его следует подвергнуть соответствующим процедурам досмотра. Операторы рентгеновских установок не должны пропускать багаж, в отношении которого у них возникают какие-либо подозрения или сомнения;
- ж) каждый проверяемый предмет багажа рассматривается как непроверенный багаж, если нельзя установить, что в багаже и его содержимом отсутствуют ограниченные к перевозке предметы.

В основе наиболее широко используемых в мировой практике систем досмотра лежит общая модель, базирующаяся на пяти уровнях досмотра, при этом первые два уровня интегрированы в операции системы обработки багажа [72].

Порядок функционирования общей модели досмотра багажа, состоящей из пяти уровней досмотра, представлен на рисунке 2.3:

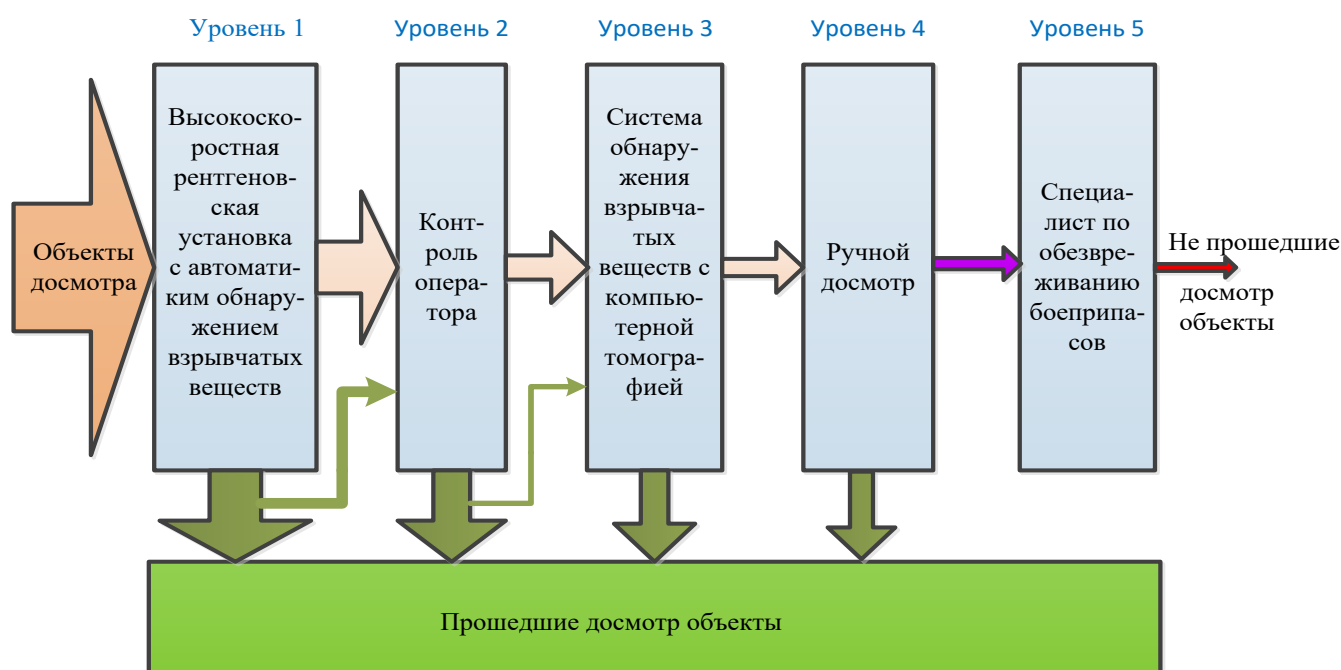


Рисунок 2.3 – Общая модель пятиуровневой системы досмотра багажа

При невозможности определения статуса безопасности багажа на данном уровне, он направляется на следующий уровень досмотра. На уровнях 1, 2 и 3 комплексной системы досмотра багажа применяются различные типы специальных технических средств досмотра.

Уровень 1. Досмотр проводится с помощью высокоскоростных рентгеновских установок с автоматическим обнаружением взрывчатых веществ. Изображение багажа, который не может быть пропущен, изучается оператором, находящимся на удалённом от пункта досмотра пульте.

Уровень 2. Ряд рабочих пультов, каждый из которых оснащён средствами улучшения качества и преобразования изображения, позволяют производить диагностику изображений [128]. Решение о соответствии багажа требованиям

досмотра принимает оператор. Если багаж не соответствует требованиям, он направляется на уровень 3 и включает:

- а) багаж, которому система досмотра багажа не может присвоить индивидуальный идентификатор безопасности (независимо от решения оператора);
- б) багаж, в отношении которого оператор не может принять решение о пропуске за отведенный период времени (известный как «просроченный» багаж);
- в) багаж, который оператор не пропускает.

Уровень 3. Багаж, который оператор уровня 2 не пропустил или в отношении, которого система слежения выдала ошибочные данные, направляется для досмотра на уровень 3. Оборудование данного уровня состоит из сертифицированных установок COBB с компьютерной томографией. Такая процедура досмотра часто выполняется за пределами главного транспортёра во избежание задержек прошедшего должную проверку багажа. Любой багаж, который не прошёл удовлетворительную проверку на уровне 3, направляется на следующие уровни проверки, которые также не являются частью системы обработки багажа. Багаж, который прошёл удовлетворительную проверку на уровне 3, направляется обратно в основной поток багажа в системе обработки для его доставки в соответствующую зону сортировки.

Уровень 4. Как правило, на этом уровне требуется присутствие пассажира для проведения ручного досмотра содержимого багажа. Такая процедура часто выполняется около пункта выхода на посадку, где можно быстро найти пассажира. Однако желательно проводить досмотр в более удалённом месте, вне поля зрения других пассажиров. Прошедший на данном этапе удовлетворительную проверку багаж загружается непосредственно на борт ВС.

Багаж, проверка которого всё ещё не дала удовлетворительных результатов, или владельца которого найти не удалось, классифицируется как багаж уровня 5.

Уровень 5. Багаж, который вызывает подозрение у сотрудников, проводящих досмотр в целях безопасности, направляется на досмотр уровня 5. Когда не прошедший удовлетворительную проверку багаж направляется на

уровень 5, оператор установок досмотра в целях безопасности уведомляет соответствующие полномочные органы (включая полицию) и руководство аэропорта, и принимаются заранее установленные меры на случай чрезвычайной обстановки, которые, как правило, включают вызов группы специалистов по обезвреживанию боеприпасов.

С ростом угроз совершения актов незаконного вмешательства в деятельность аэропорта применяются дополнительные меры безопасности. В соответствии с объявленным (установленным) уровнем безопасности в аэропорту, часть багажа, прошедшего удовлетворительную проверку на первом и втором уровнях досмотра направляется на повторную проверку на следующий уровень досмотра. При этом, отбор должен осуществляться случайным образом, чтобы исключить всякую закономерность, которой может воспользоваться нарушитель.

В имитационной модели процесса досмотра багажа, перевозимого в грузовом отсеке воздушного судна, которая является частью имитационной модели процесса предполетного досмотра (рисунок 2.3), использовались аналогичные типы фишек. Для разрабатываемой модели многоуровневого процесса досмотра багажа тип фишек обозначается цифрами: 4 – досматриваемый багаж; 41 – багаж без «закладок»; 42 – багаж с «закладками»; 412 – багаж без «закладок» ошибочно не прошедший проверку (ложная тревога); 421, 422, 423, 424 – багаж с «закладками», который не был обнаружен соответственно на 1, 2, 3 и 4 уровнях досмотра.

Сеть Петри, моделирующая процесс досмотра багажа при пятиуровневой системе его контроля разработана в программной среде CPN Tools, которая является специальной моделирующей системой, использующей для описания моделей язык сетей Петри. Основными ее функциями являются: – создание (редактирование) моделей; – анализ поведения моделей; – построение и анализ пространства состояний модели. Данная сеть представлена на рисунке 2.4.

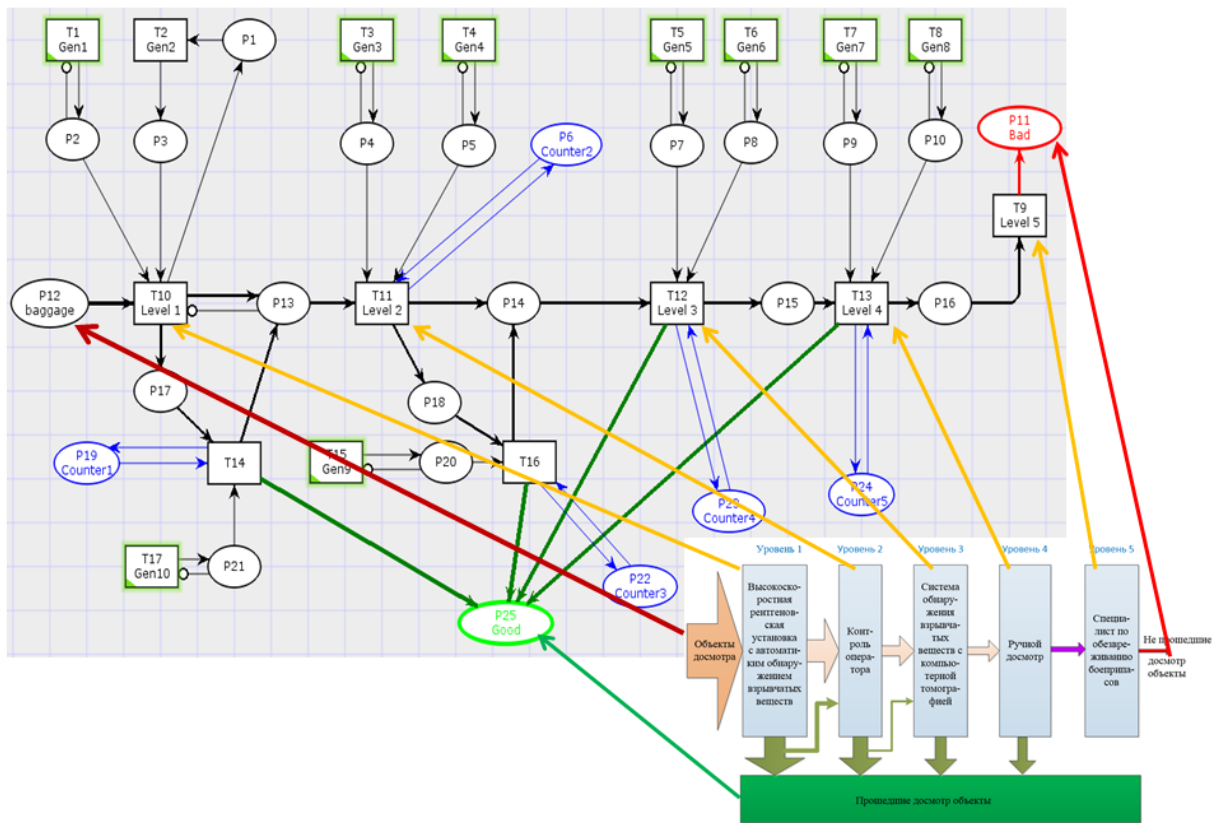


Рисунок 2.4 – Сеть Петри, моделирующая систему контроля багажа

Аналитически данная сеть Петри представляется в следующем виде [42, 63]:

$$C = (P, T, I, O, H, m_0), \quad (2.7)$$

где P, T, I, O, m_0 – имеют аналогичное значение, что и в формуле (2.1);

H – множество ингибиторных дуг. При этом $P_h = \{p_h \mid (p_h, t) \in H\}$ – множество ингибиторных позиций, $p_h \in P_h$.

Для удобства представления данной сети используется матричный подход, который основывается на описании сети Петри матрицами D^- , D^+ и D [12].

Матрица D^- представляет входную функцию сети (матрица инциденций дуг, входящих в переходы), матрица D^+ – выходную функцию сети (матрица инциденций дуг, выходящих из переходов), а D – матрица изменений (матрица инциденций сети Петри). Каждая матрица имеет m строк (по одной на переход) и n столбцов (по одному на позицию). Для сети Петри, моделирующей пятиуровневую систему контроля багажа, матрицы D^- и D^+ представлены на рисунках 2.5 и 2.6.

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}
t_1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_3	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_4	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_5	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_6	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_7	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_{10}	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_{11}	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_{12}	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
t_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
t_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
t_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
t_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
t_{17}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0

Рисунок 2.5 – Матрица, представляющая входную функцию сети Петри

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}
t_1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
t_{10}	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
t_{11}	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
t_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
t_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
t_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
t_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
t_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
t_{17}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Примечание: 0 – отсутствие дуги; 1 – наличие дуги; -1 – наличие ингибиторной дуги.

Рисунок 2.6 – Матрица, представляющая выходную функцию сети Петри

$$m_1 = m_0 + x \cdot D. \quad (2.8)$$

Для моделирования стохастических характеристик в CPN Tools используются случайные функции.

Из нескольких известных способов описания случайных функций выбраны свободные (несвязанные) переменные, которые являются переменными выходных дуг переходов, значения которых не определены входными дугами и другими атрибутами. Им присваиваются случайные значения во время работы сети.

Сеть представлена следующими группами элементов:

- переходы $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_{15}, t_{17}$ – моделирующие работу генераторов дискретных чисел, равномерно распределенных в определенном диапазоне;

- переходы $t_9, t_{10}, t_{11}, t_{12}, t_{13}$ – моделирующие работу оборудования и операторов на уровнях досмотра по выявлению запрещенных к перевозке предметов;

- переходы t_{14}, t_{16} – моделирующие отправку части багажа, прошедшего удовлетворительную проверку на первом и втором уровнях досмотра на дополнительную проверку на следующий (соответственно, второй или третий) уровень досмотра;

- позиции $p_6, p_{19}, p_{22}, p_{23}, p_{24}$ – моделирующие работу счетчиков, учитывающих количество срабатываний соответствующих переходов $t_{11}, t_{14}, t_{16}, t_{12}, t_{13}$. При этом через первый уровень досмотра проходит весь багаж, через второй – багаж, которому отказано в пропуске на первом уровне плюс часть багажа прошедшего удовлетворительную проверку на первом уровне и случайным образом отобранного для дополнительной проверки на втором уровне. Через третий уровень досмотра проходит багаж, которому отказано в пропуске на втором уровне плюс часть багажа прошедшего удовлетворительную проверку на втором уровне и случайным образом отобранного для дополнительной проверки на третьем уровне;

- позиции p_{11}, p_{25} – моделирующие накопители, регистрирующие количество багажа, не прошедшего досмотр и количество багажа, направленного на сортировку.

2.6 Имитационная модель процесса предполетного досмотра в программной среде CPN Tools

В качестве программной среды для моделирования заданной сети Петри применяется программа *CPN Tools*, в которой используются иерархические временные раскрашенные (цветные) сети Петри.

Понятие раскрашенной (цветной) сети Петри подразумевает использование различных типов фишек, которые представляют абстрактные типы данных.

Временные сети Петри используют понятие модельного времени для отображения продолжительности действий в элементах моделируемой системы.

Иерархические сети позволяют строить сложные модели, в которых элемент сети может быть представлен другой сетью.

Для проведения имитационного моделирования данная модель представлена в виде композиции двух сетей Петри (страниц в *CPN Tools*):

– первая сеть Петри (рисунок 2.7) формирует исходные данные для моделирования;

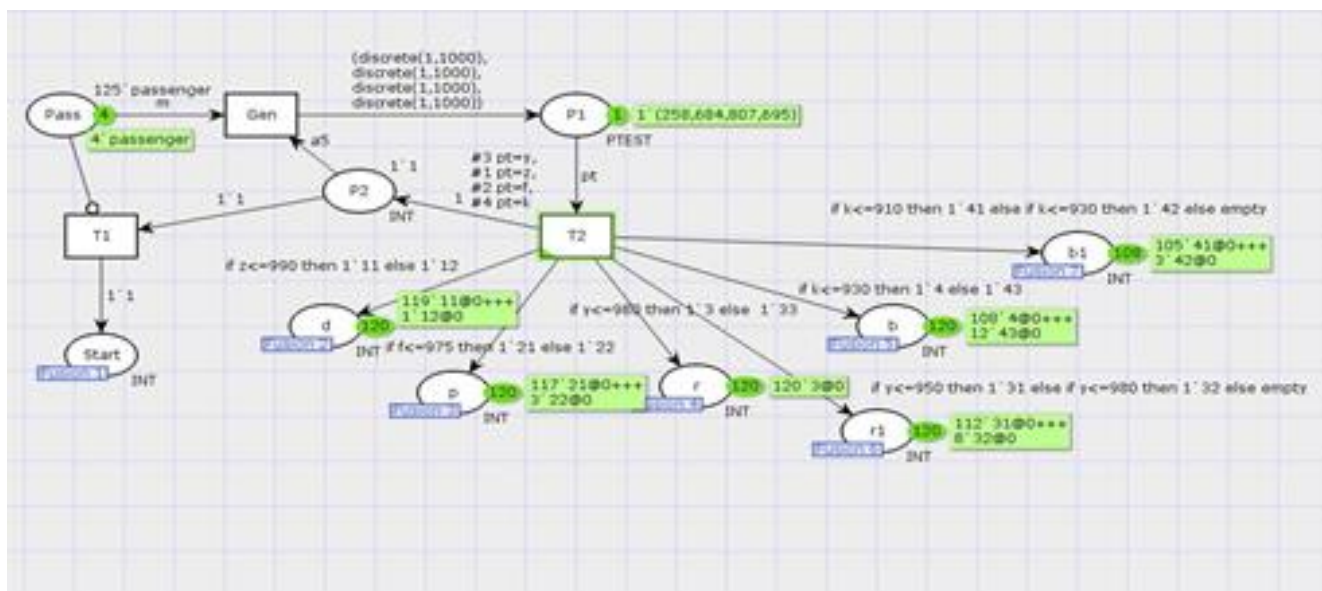


Рисунок 2.7 – Сеть Петри, формирующая исходные данные для моделирования

– вторая сеть Петри (рисунок 2.8), описанная выше, непосредственно имитационная модель процесса предполетного досмотра.

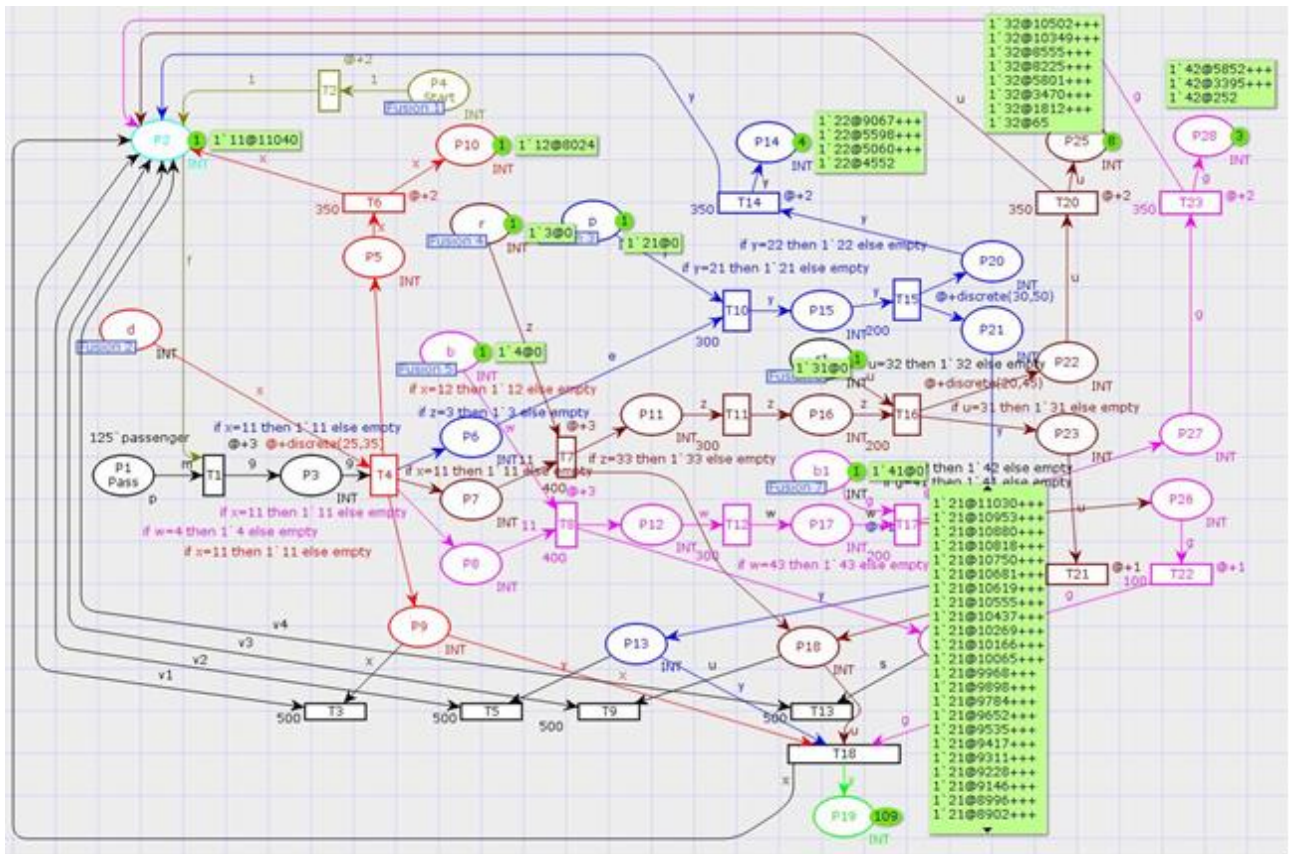


Рисунок 2.8 – Имитационная модель процесса предполетного досмотра, выполненная в программе CPN Tools

Для объединения сетей используем слияние позиций. При этом позиции множества слияния дополняются тегом слияния с одним и тем же именем.

Для формирования исходных данных типы фишек обозначены натуральными числами, в которых первая цифра обозначает:

- 1 – атрибут « d_i - документы»;
- 2 – атрибут « p_i - пассажир»;
- 3 – атрибут « r_i - ручная кладь»;
- 4 – атрибут « b_i - багаж».

Вторая цифра имеет следующие значения:

- 1 – соответствие атрибута требованиям для перевозки;
- 2 – несоответствие атрибута требованиям для перевозки;
- 3 – отсутствие атрибута.

Например, запись $24'11++2'12$ обозначает множество, состоящее из 24 фишек типа 11, то есть документы соответствуют и 2 фишек типа 12 – документы

не соответствуют требованиям для перевозки.

Пассажир допускается на рейс, если по всем проверяемым атрибутам он получает допуск. Пассажир не допускается на рейс, если хотя бы по одному из проверяемых атрибутов он не соответствует требованиям. При этом под несоответствием понимаются недостатки, которые не могут быть устранены в ходе проверки, а также, если у пассажира, в его ручной клади или в багаже при проведении досмотра обнаружены запрещенные к перевозке предметы (вещества), которые могут использоваться для совершения акта незаконного вмешательства (АНВ).

Чтобы сформировать с помощью первой сети Петри (рисунок 2.7) исходные данные для моделирования, необходимо задать значение количества пассажиров на рейс и определить какую часть из них будут составлять пассажиры, у которых проверяемые атрибуты будут не соответствовать требованиям для перевозки или отсутствовать.

Используя возможность *CPN Tools* осуществлять пошаговую имитацию поведения сложной системы, можно осуществлять поиск и устранение ошибок в разрабатываемой модели. Для получения статистических данных для анализа поведения модели программа позволяет выполнить заданное количество переходов без отображения промежуточных маркировок.

Для анализа временных характеристик процесса досмотра необходимо задать время выполнения отдельных технологических операций при досмотре, используя атрибут «время задержки» перехода.

Данная модель предполетного досмотра пассажиров, их ручной клади и багажа позволяет исследовать работоспособность моделируемой системы, оптимальность ее структуры, эффективность процесса ее функционирования, оценить временные показатели, а также возможность достижения в процессе функционирования определенных состояний, связанных с образованием очередей на отдельных технологических участках досмотра [106, 107].

2.7 Исследование процесса досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки с помощью имитационной модели в программной среде CPN Tools

Для детального исследования процесса контроля багажа, на основе декомпозиции модели предполетного досмотра в аэропорту была разработана и реализована в программной среде CPN Tools имитационная модель процесса досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки, которая представлена на рисунке 2.9.

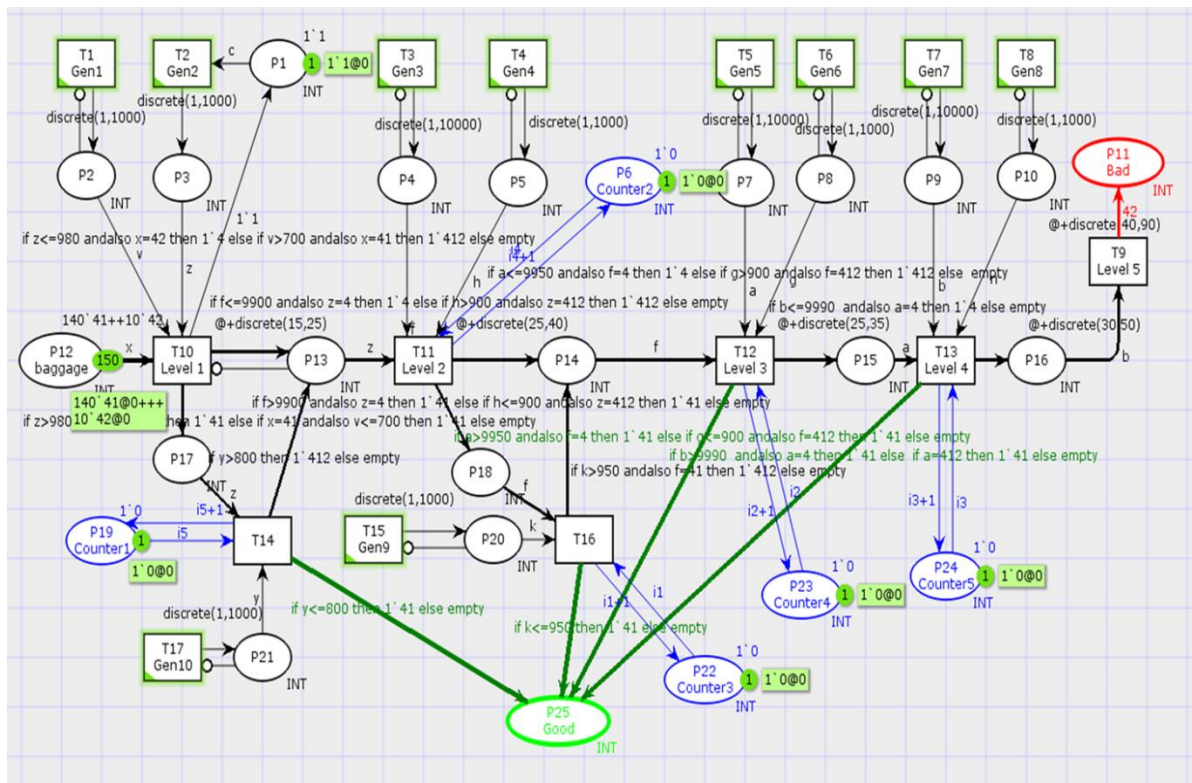


Рисунок 2.9 – Имитационная модель пятиуровневой системы досмотра багажа

Предложенные модель предполетного досмотра в аэропорту и модель пятиуровневой системы досмотра багажа позволяют исследовать работоспособность моделируемых систем, получить оптимальные их структуры, исследовать эффективность процесса их функционирования, а также возможность достижения в процессе функционирования определенных состояний. Задавая время выполнения операций при досмотре, используя атрибут «время задержки» перехода, можно анализировать временные характеристики процесса досмотра [113].

Было проведено исследование зависимости коэффициентов пропуска (не обнаружения) имитирующих запрещенные к перевозке предметы (вещества) «закладок» от конкретных параметров и характеристик досмотрового оборудования и принятых организационных мер, связанных с изменениями уровня безопасности в аэропорту [62, 63, 64, 99, 102], которая имеет следующий вид:

$$K_{np} = f(P_{обн}^1, P_{обн}^2, P_{обн}^3, P_{обн}^4, a_{1-2}, a_{2-3}, n_3^j), \quad (2.9)$$

где $P_{обн}^1, P_{обн}^2, P_{обн}^3, P_{обн}^4$ – вероятности обнаружения имитирующих запрещенные к перевозке предметы (вещества) «закладок» на 1,2,3,4 уровнях досмотра;

a_{1-2}, a_{2-3} – коэффициенты возврата на дополнительный досмотр на второй и третий уровень соответственно;

n_3^j – количество «закладок» в j -ом варианте «закладок» ($j = 1, 2, \dots, s$);

s – число вариантов «закладок».

Параметр – вероятность ложной тревоги $P_{лт}^i$ на каждом уровне досмотра не учитывается, так как на коэффициент пропуска «закладок» он не влияет. От него будет зависеть время проведения досмотра.

В работе выполнены исследования зависимостей в наибольшей степени влияющих на качество проведения досмотра багажа. Результаты исследования приведены ниже.

1. Зависимость коэффициента пропуска (не обнаружения) «закладок» от количества «закладок», определяемых вариантом «закладок». При этом неизменны характеристики досмотрового оборудования, коэффициенты возврата на дополнительный досмотр части багажа на второй и третий уровень досмотра.

$$K_{np} = f(n_3^j), \text{ при } P_{обн}^i = \text{const.}, a_{1-2} = \text{const.}, a_{2-3} = \text{const.} \quad (2.10)$$

Под коэффициентом пропуска (не обнаружения) K_{np} , имитирующих запрещенные к перевозке предметы (вещества) «закладок», будем понимать отношение суммарного количества пропущенных (не обнаруженных) «закладок»

$n_3^{np\Sigma}$ к общему числу «закладок» n_3^Σ , используемых при проведении эксперимента (с учетом количества испытаний m):

$$K_{np} = \frac{n_3^{np\Sigma}}{n_3^\Sigma} \cdot 100\%, \quad (2.11)$$

где $n_3^{np\Sigma} = \sum_{l=1}^m n_3^{np_l}$; $n_3^{np_l}$ – количество пропущенных закладок при l – ом испытании

($l = 1, 2, \dots, m$); $n_3^\Sigma = n_3^j \cdot m$; m – число испытаний для каждого варианта «закладок».

Основные параметры и характеристики процесса досмотра багажа представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные параметры и характеристики процесса досмотра багажа

Параметры и характеристики процесса досмотра багажа	Обозначение	Значение
1	2	3
Количество уровней досмотра багажа	k	5
Количество проверяемого багажа за 1 день	N_B	6000
Количество багажа с «закладками» на 1 рейс	n_3^j	5...100
Количество вариантов «закладок»	s	4;10
Число испытаний для каждого значения количества «закладок»	m	30; 100
Необходимое время на проведение процедуры досмотра на каждом уровне, с	t_1	15...25
	t_2	25...40
	t_3	25...35
	t_4	30...50
	t_5	40...90
Вероятности обнаружения «закладок» по уровням досмотра	$P_{обн}^1$	0,98
	$P_{обн}^2$	0,99
	$P_{обн}^3$	0,995
	$P_{обн}^4$	0,999
Вероятность ложных тревог (ложного обнаружения «закладок») по уровням досмотра	$P_{лт}^1$	0,3
	$P_{лт}^2$	0,15
	$P_{лт}^3$	0,1
	$P_{лт}^4$	0

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Коэффициент возврата на дополнительный досмотр на второй уровень	a_{1-2}	(0,1)
Коэффициент возврата на дополнительный досмотр на третий уровень	a_{2-3}	(0,1)

В данном исследовании число испытаний для каждого значения количества «закладок» $m=30$; число вариантов «закладок» $S=10$. Результаты моделирования представлены в таблицах 2.2; 2.3 и на рисунках 2.10 и 2.11.

Таблица 2.2 – Результаты исследования при отсутствии повторной проверки багажа на 2-ом и 3-м уровнях досмотра

Значения коэффициентов возврата на дополнительный досмотр на второй и третий уровень	Коэффициент пропуска «закладок» в % при заданном варианте испытаний									
	$n_3^1=5$	$n_3^2=10$	$n_3^3=15$	$n_3^4=20$	$n_3^5=25$	$n_3^6=30$	$n_3^7=35$	$n_3^8=40$	$n_3^9=45$	$n_3^{10}=50$
$a_{1-2}=0$; $a_{2-3}=0$	1,8	3,1	3,4	3,4	3,3	3,0	2,9	3,5	3,1	3,4

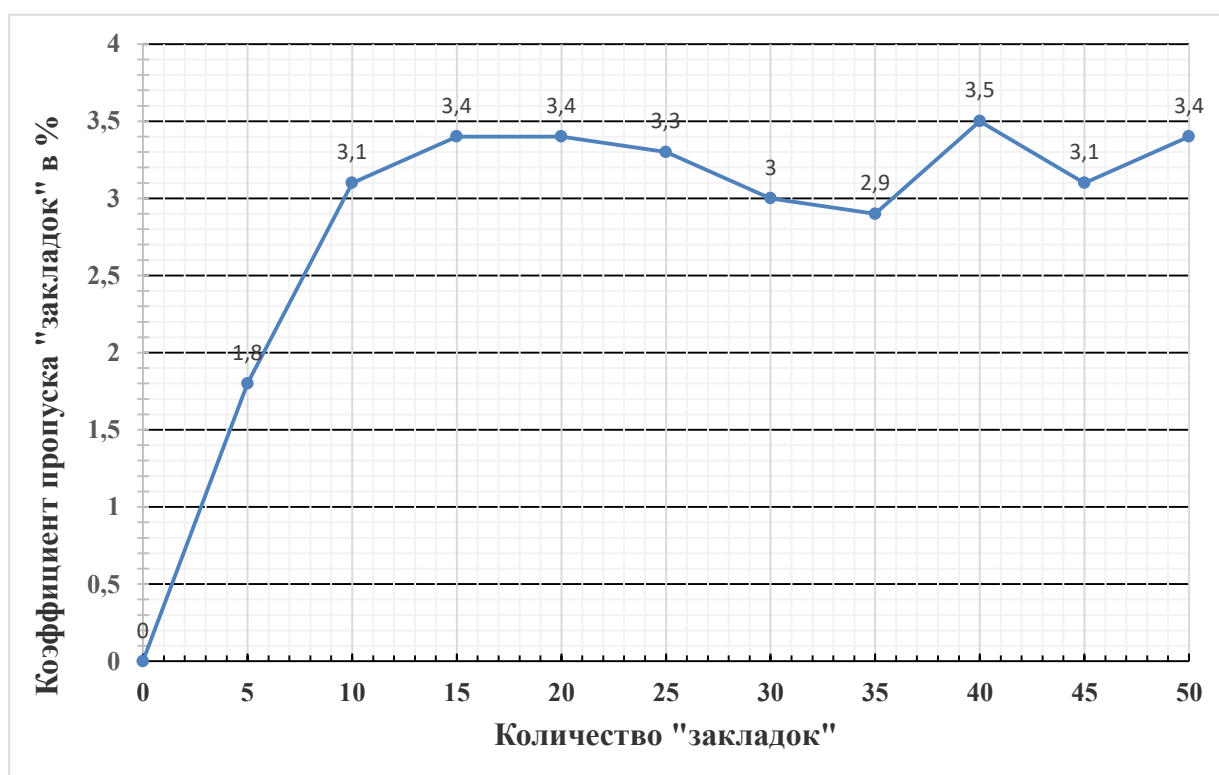


Рисунок 2.10 – Зависимость коэффициента пропуска «закладок» от количества «закладок» в проверяемой партии багажа при отсутствии повторной проверки багажа на 2-ом и 3-м уровнях досмотра

Таблица 2.3 – Результаты исследования при различных вариантах повторной проверки багажа на 2-ом и 3-м уровнях досмотра

Значения коэффициентов возврата на дополнительный досмотр на второй и третий уровень	Коэффициент пропуска «закладок» в % при заданном варианте испытаний			
	$n_3^1 = 25$	$n_3^2 = 50$	$n_3^3 = 75$	$n_3^4 = 100$
$a_{1-2} = 0; a_{2-3} = 0$	3,2	3,4	3,8	4,3
$a_{1-2} = 0,2; a_{2-3} = 0,05$	2,8	3,2	3,5	3,7
$a_{1-2} = 0,25; a_{2-3} = 0,1$	2,4	3	3,2	3,4

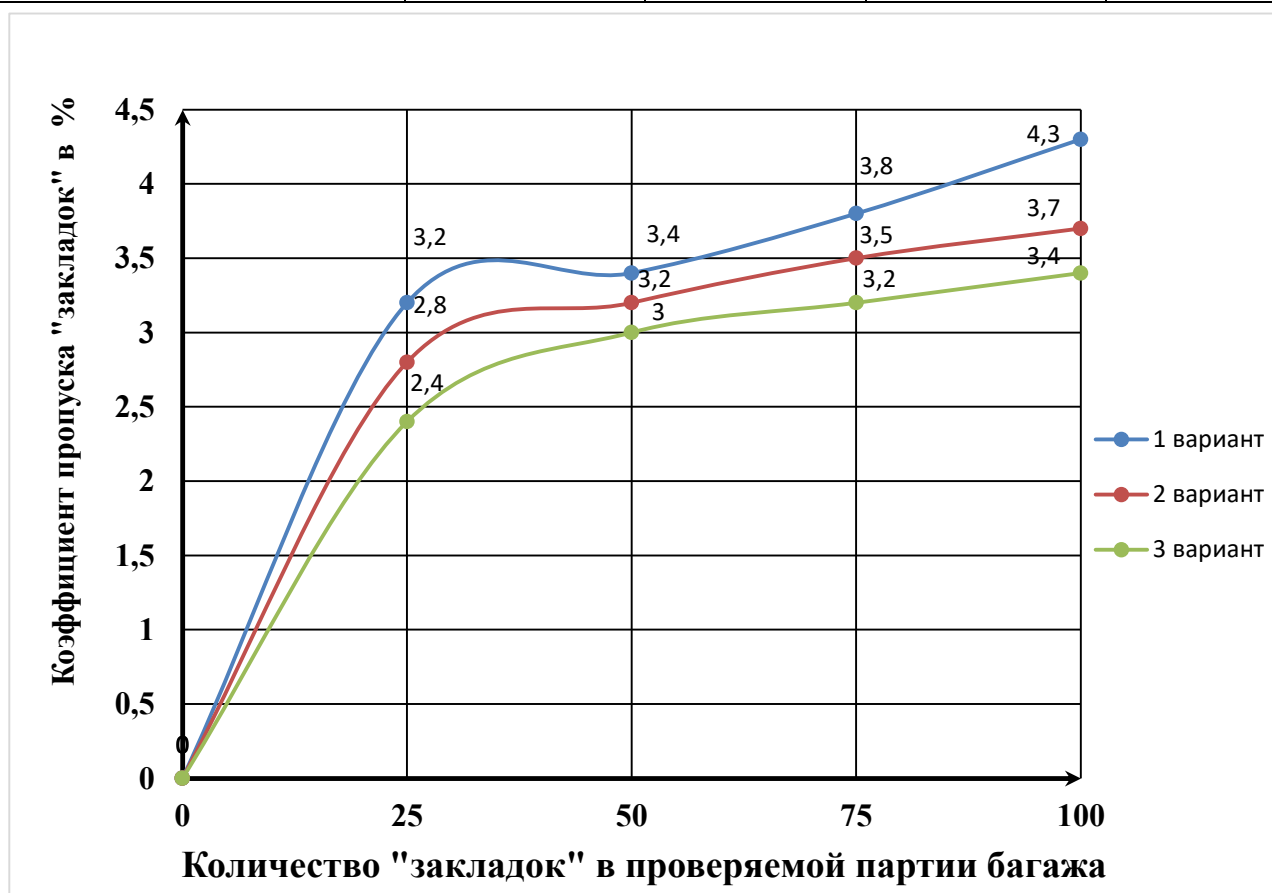


Рисунок 2.11 – Зависимость коэффициента пропуска «закладок» от количества «закладок» в проверяемой партии багажа при различных вариантах повторной проверки багажа на 2-ом и 3-м уровнях досмотра

2. Зависимость количества групп пропущенных «закладок» K_{np}^{cp} от количества «закладок» в данном эксперименте:

$$K_{np}^{cp} = f(n_3^j), \text{ при } P_{обн}^i = \text{const.}, a_{1-2} = \text{const.}, a_{2-3} = \text{const.} \quad (2.12)$$

Исследование проводилось при аналогичных значениях параметров и характеристик досмотрового оборудования. Количество проверяемого багажа принималось равным $N_B = 350$ единиц на 1 рейс; число испытаний для каждого значения количества «закладок» $m = 100$; число вариантов «закладок» $s = 10$. Значения коэффициентов возврата на дополнительный досмотр на следующий уровень принимались равными $a_{1-2} = 0,2$; $a_{2-3} = 0,05$.

Результаты моделирования представлены в таблице 2.4 и показаны на диаграмме (рисунок 2.12).

Таблица 2.4 – Результаты исследования зависимости количества групп пропущенных «закладок» K_{np}^{ep} от количества «закладок» в данном эксперименте

Максимальное количество пропущенных «закладок» в группе	Количество групп пропущенных «закладок», при									
	$n_3^1=5$	$n_3^2=10$	$n_3^3=15$	$n_3^4=20$	$n_3^5=25$	$n_3^6=30$	$n_3^7=35$	$n_3^8=40$	$n_3^9=45$	$n_3^{10}=50$
1	7	29	29	39	41	41	47	40	36	35
2	2	1	7	14	15	13	15	21	24	21
3	0	0	2	0	4	6	7	11	14	19
4	0	0	0	0	0	0	1	4	2	6
5	0	0	0	0	0	1	0	2	1	2

3. Зависимость коэффициента пропуска (не обнаружения) «закладок» от коэффициента возврата на дополнительный досмотр на второй уровень части багажа, прошедшего удовлетворительную проверку на первом уровне досмотра. При этом неизменны характеристики досмотрового оборудования, количество «закладок» и коэффициент возврата на дополнительный досмотр на третий уровень части багажа.

$$K_{np} = f(a_{1-2}), \text{ при } P_{обн}^i = \text{const.}, n_3^j = \text{const.}, a_{2-3} = \text{const.} \quad (2.13)$$

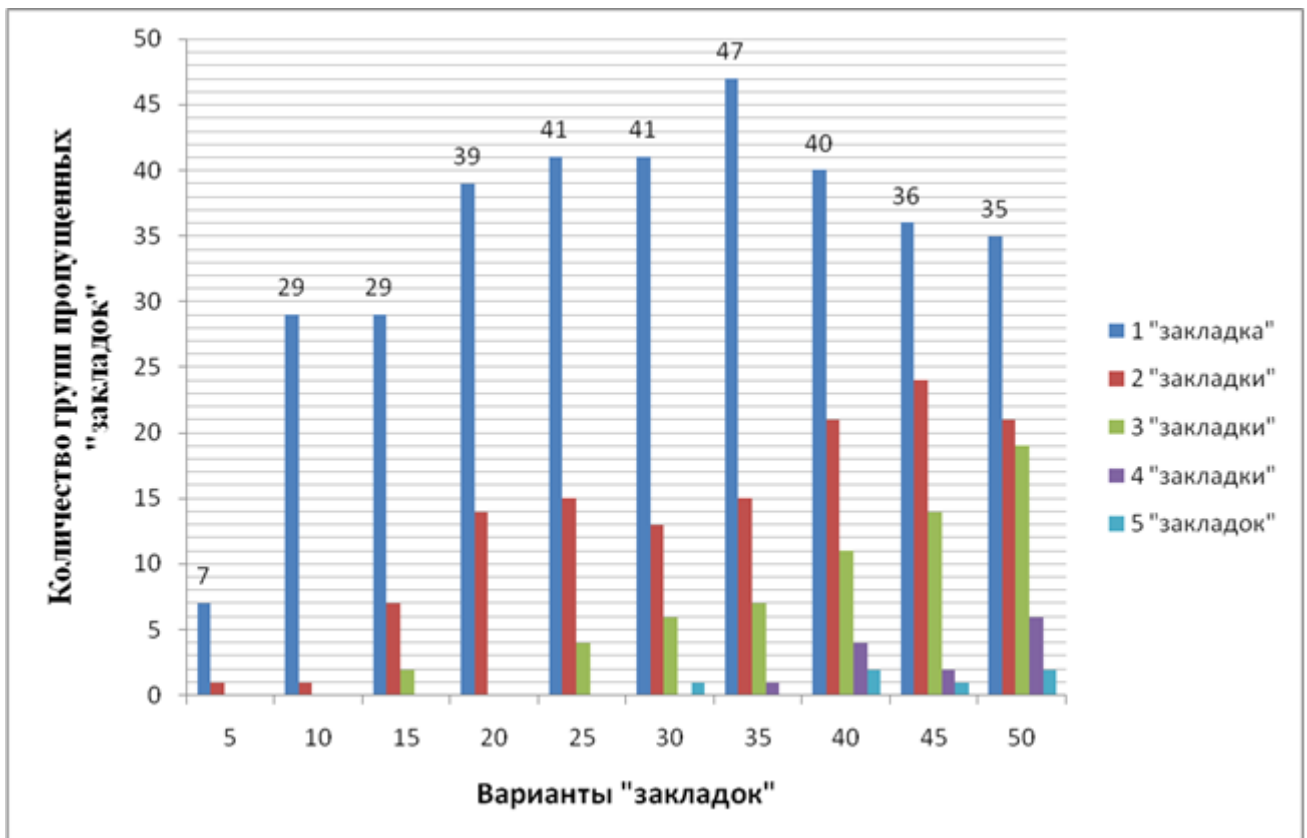


Рисунок 2.12 – Диаграмма зависимости количества групп пропущенных «закладок» K_{np}^{zp} от количества «закладок» в данном эксперименте

Исследование проводилось при аналогичных значениях параметров и характеристик досмотрового оборудования. Количество проверяемого багажа принималось равным $N_B=500$ единиц на 1 рейс; число испытаний для каждого значения количества «закладок» $m=100$. Значения коэффициента возврата на дополнительный досмотр на 2 уровень изменялись от $a_{1-2}=0$; до $a_{1-2}=1,0$ через интервал $\Delta a_{1-2}=0,1$.

Для наглядности результаты моделирования представлены для значений $a_{2-3}=0;0,1;0,45;1,0$ и показаны на графике (рисунок 2.13)

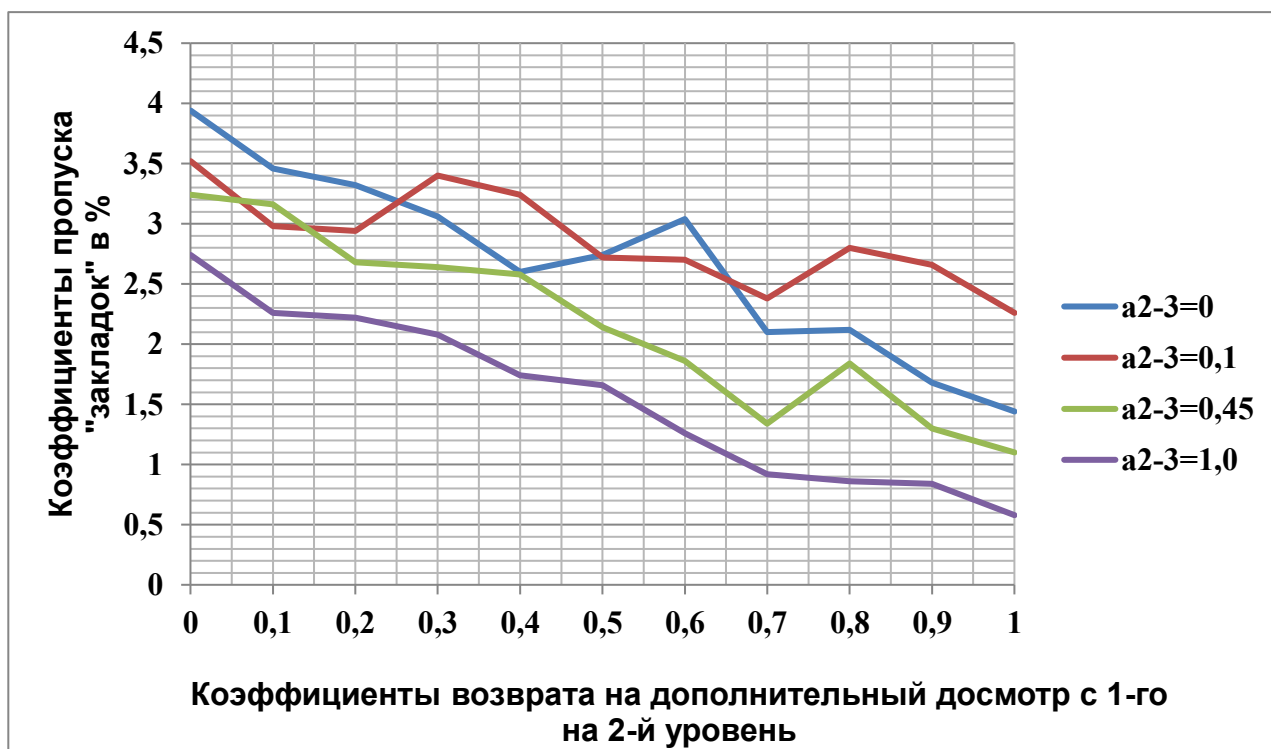


Рисунок 2.13 – Зависимость коэффициентов пропуска «закладок» от коэффициентов возврата на дополнительный досмотр части багажа на 2 уровень

4. Зависимость коэффициента пропуска (не обнаружения) «закладок» от коэффициента возврата на дополнительный досмотр на 3 уровень части багажа, прошедшего удовлетворительную проверку на 2 уровне досмотра. При этом неизменны характеристики досмотрового оборудования, количество «закладок» и коэффициент возврата на дополнительный досмотр на 2 уровень части багажа.

$$K_{np} = f(a_{2-3}), \text{ при } P_{обн}^i = \text{const.}, n_3^j = \text{const.}, a_{1-2} = \text{const.} \quad (2.14)$$

Исследование проводилось при аналогичных значениях параметров и характеристик досмотрового оборудования. Количество проверяемого багажа принималось равным $N_B = 500$ единиц на 1 рейс; число испытаний для каждого значения количества «закладок» $m = 100$. Значения коэффициента возврата на дополнительный досмотр на 2 уровень изменялись от $a_{2-3} = 0$; до $a_{2-3} = 1,0$ через интервал $\Delta a_{2-3} = 0,1$.

Для наглядности результаты моделирования представлены для значений

$\alpha_{1-2}=0; 0,1; 0,45; 1,0$ и показаны на графике (рисунок 2.14)

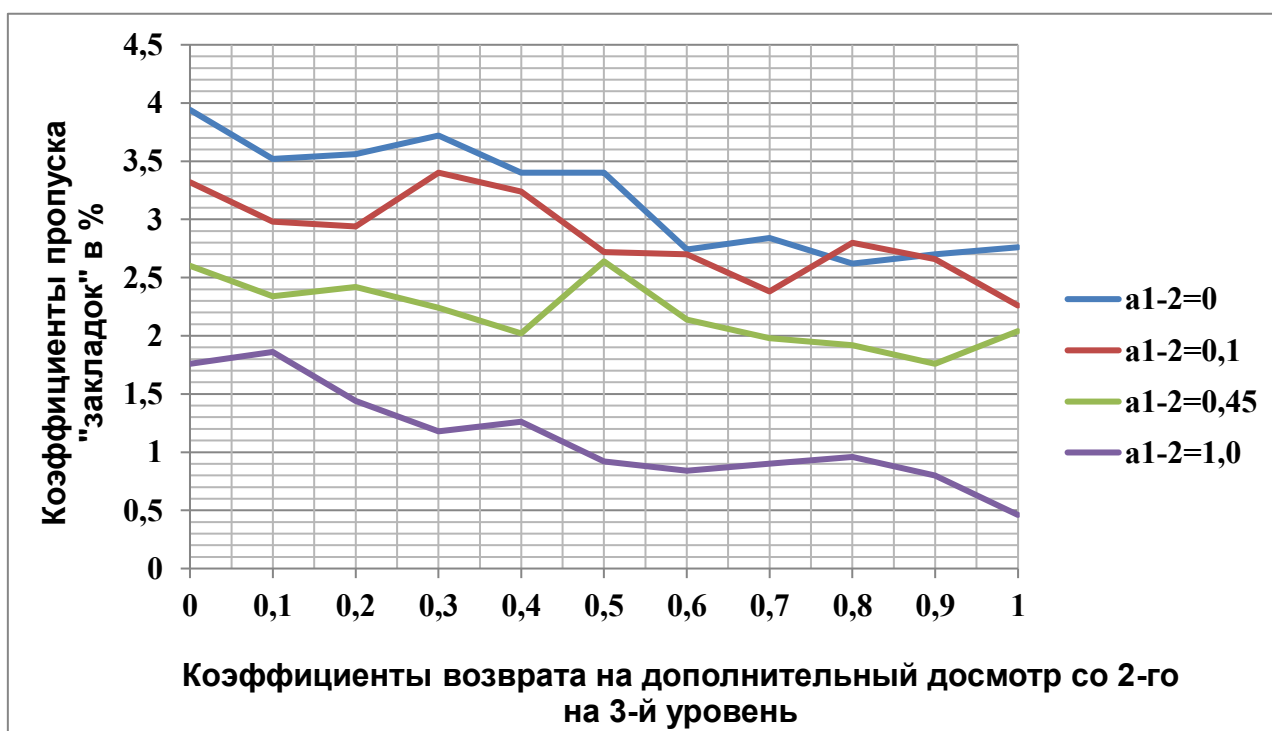


Рисунок 2.14 – Зависимость коэффициента пропуска «закладок» от коэффициента возврата на дополнительный досмотр части багажа на 3 уровень.

Разработанная модель многоуровневого процесса досмотра багажа позволяет так же получить информацию о распределении пропусков имитирующих запрещенные к перевозке предметы (вещества) «закладок» в проверяемых багажах по каждому уровню досмотра. (Пример, полученных данных при проведении испытаний, представлен в приложении А). Это позволяет находить слабые места в системе контроля багажа и принимать соответствующие корректирующие действия.

По результатам проведенных исследований можно определить оптимальные значения коэффициентов возврата багажа на повторный досмотр с учетом установленного уровня безопасности в аэропорту [105].

Выводы по главе 2

1. Представлен подход к построению оптимальной структуры

многоуровневого процесса досмотра багажа, перевозимого в грузовом отсеке воздушного судна. Этот подход основан на рекомендациях Международной организации гражданской авиации и предполагает создание структуры системы контроля багажа, учитывающей наличие и технические возможности досмотрового оборудования конкретного аэропорта.

2. Математическая модель многоуровневого процесса досмотра багажа, перевозимого в грузовом отсеке воздушного судна, выполнена с помощью аппарата сетей Петри и реализована в специальной моделирующей среде CPN Tools. Разработанная модель позволяет исследовать работоспособность моделируемой системы, оптимальность ее структуры, эффективность процесса ее функционирования, оценить временные показатели, а также возможность достижения в процессе функционирования определенных состояний, осуществлять проверку, установленного требованиями руководящих документов, порядка функционирования пункта досмотра. Модель также позволяет исследовать зависимости коэффициентов пропуска (не обнаружения), имитирующих запрещенных к перевозке на воздушном транспорте предметов (веществ) «закладок» от параметров и характеристик технических средств досмотра, применяемых в конкретном аэропорту и от принятых вариантов организации контроля багажа, учитывающих прямые и непосредственные угрозы безопасности воздушных перевозок.

3. На основе предложенной модели были исследованы зависимости коэффициентов пропуска (не обнаружения) «закладок» от их количества при неизменных конкретных параметрах и характеристиках досмотрового оборудования и зависимость количества групп пропущенных «закладок» от количества «закладок» в данном эксперименте. Полученные результаты показывают:

– эффективной мерой для повышения качества проведения контроля багажа, является применение на практике процедуры повторного досмотра на следующих уровнях части багажа, прошедшего удовлетворительную проверку на первом и втором уровнях досмотра. При этом доля багажа, подлежащая дополнительной

проверки на последующих уровнях досмотра, зависит от объявленного (установленного) уровня безопасности в аэропорту, адекватного выявленным угрозам;

– при проведении второго исследования, начиная с 5 «закладок» в одной партии проверяемого багажа (соответствует количеству багажа на один рейс, выполняемом на большом воздушном судне) появляются группы пропуска (не обнаружения) «закладок». Это обстоятельство необходимо учитывать при досмотре багажа при проведении предполетного досмотра. Как следует из диаграммы, при данном исследовании пик пропуска одиночных «закладок» приходится на вариант эксперимента с 35 «закладками» (всего не обнаружено 47 «закладок»). Пик пропуска групп с двумя «закладками» соответствует варианту эксперимента с 45 «закладками» (всего не обнаружено 24 группы «закладок»). Пик пропуска групп с тремя, четырьмя и пятью «закладками» соответствует варианту эксперимента с 50 «закладками» (не обнаружено соответственно 19, 6 и 2 группы «закладок»).

4. Исследование модели многоуровневого процесса досмотра багажа и получение информации о распределении пропусков, имитирующих запрещенные к перевозке предметы (вещества) «закладок» в проверяемых багажах по каждому уровню досмотра, позволит находить слабые места в системе контроля багажа и принимать соответствующие корректирующие действия.

5. Предложенная модель позволяет получить необходимые данные для разработки схемы управления процессом досмотра багажа в многоуровневой системе контроля на основе количественной оценки качества его проведения.

Таким образом, сети Петри позволяют адекватно представлять структуры сложных динамических дискретных организационно-технических систем, к которым относится система контроля багажа в аэропорту, проводить их анализ и отображать логико-временные особенности процессов их функционирования [13].

ГЛАВА 3 КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРОЦЕССОМ ДОСМОТРА БАГАЖА В АЭРОПОРТУ

3.1 Обоснование нормативных требований безопасности к системе предполетного досмотра в аэропорту

В современном мире, для дальнейшего развития в будущем и устойчивого функционирования в настоящем, ни одна организация не может существовать без стратегии – курса развития организации, определенного на долгий срок и затрагивающего все виды ее деятельности.

Любая организация для совершенствования своей деятельности и удовлетворения растущих потребностей потребителей имеет стратегическую цель – постоянное улучшение процессов, т.е. совокупности взаимосвязанных и (или) взаимодействующих видов деятельности, использующих входы для получения намеченного результата [29].

Представление и понимание происходящих при перевозке пассажиров на ВТ взаимосвязанных процессов как системы и управление ими как системой позволяют повысить результативность и эффективность авиапредприятия в достижении намеченных результатов. Такой подход дает возможность авиапредприятию эффективно осуществлять управление взаимосвязями и взаимозависимостями между процессами системы, что, в конечном итоге, позволит улучшить общие показатели его деятельности.

При подробном рассмотрении вопросов обеспечения безопасности непосредственно процесса перевозки пассажиров на воздушном транспорте (ВТ), необходимо учитывать, что пассажир, приобретая билет на необходимый ему рейс, заключает договор с авиакомпанией на оказание ему услуги по перевозке его, ручной клади и багажа из одного аэропорта в другой. При этом главным требованием к услуге является ее безопасность, поэтому пассажиру должно быть комфортно и безопасно до, во время и после полета.

В мировой практике в гражданской авиации существуют два направления обеспечения безопасности воздушных перевозок: безопасность полетов и авиационная безопасность. Безопасность полетов (БП) является комплексной характеристикой воздушного транспорта и авиационных работ, которая определяет способность выполнять полеты без угрозы для жизни и здоровья людей, а также сохранность перевозимого имущества (грузов).

Обеспечение безопасности полетов гражданских воздушных судов является сложной задачей, и ее решение возможно только в результате консолидации усилий изготовителей гражданской авиационной техники и эксплуатантов этой техники. Требования по безопасности полетов разрабатываются и реализуются на стадии проектирования, изготовления и испытания авиационной техники. Они закладываются в конструкцию ВС и в технологию его изготовления. В процессе летной эксплуатации эти требования обеспечиваются правильной организацией работ соответствующих служб эксплуатирующих ВС на земле и в воздухе. Таким образом, безопасность полетов характеризует надежность воздушных судов и квалификацию персонала, их обслуживающих и эксплуатирующих.

Авиационная безопасность – комплекс мер, а также людские и материальные ресурсы, предназначенные для защиты гражданской авиации от актов незаконного вмешательства в деятельность гражданской авиации, т.е. – это состояние защищенности авиации от незаконного вмешательства в деятельность в области авиации [17].

Другими словами, авиационная безопасность предполагает отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба от незаконного вмешательства в деятельность в области авиации.

Авиационная безопасность обеспечивается комплексом мер, предусматривающих создание и функционирование служб авиационной безопасности, охрану аэропортов, воздушных судов и объектов гражданской авиации, досмотр членов экипажей, обслуживающего персонала, пассажиров, ручной клади, багажа, почты, грузов и бортовых запасов, предотвращение и пресечение попыток захвата и угона воздушных судов.

Авиационная безопасность обеспечивается службами авиационной безопасности и подразделениями военизированной охраны аэропортов и авиакомпаний, а также специально уполномоченными органами, наделенными этим правом федеральными законами [17].

Таким образом, деятельность по обеспечению безопасности полетов направлена на защиту жизни и здоровья пассажиров, членов экипажей ВС, а также сохранность перевозимого имущества (грузов). Это достигается за счет увеличения надежности авиационной техники и повышения квалификации авиационного персонала. Авиационная безопасность обеспечивает безопасность жизни и здоровья пассажиров и членов экипажей ВС путем защиты деятельности гражданской авиации от актов незаконного вмешательства.

Для понимания взаимодействия процессов, детальной разработки будущих процессов, разработки требований по шагам процессов, разработки процедур проверки и мониторинга, составления/изменения должностных инструкций, процедур и необходимого обучения персонала в связи с изменениями процесса создана модель процесса перевозки пассажиров на ВТ (рисунок 3.1) [104].

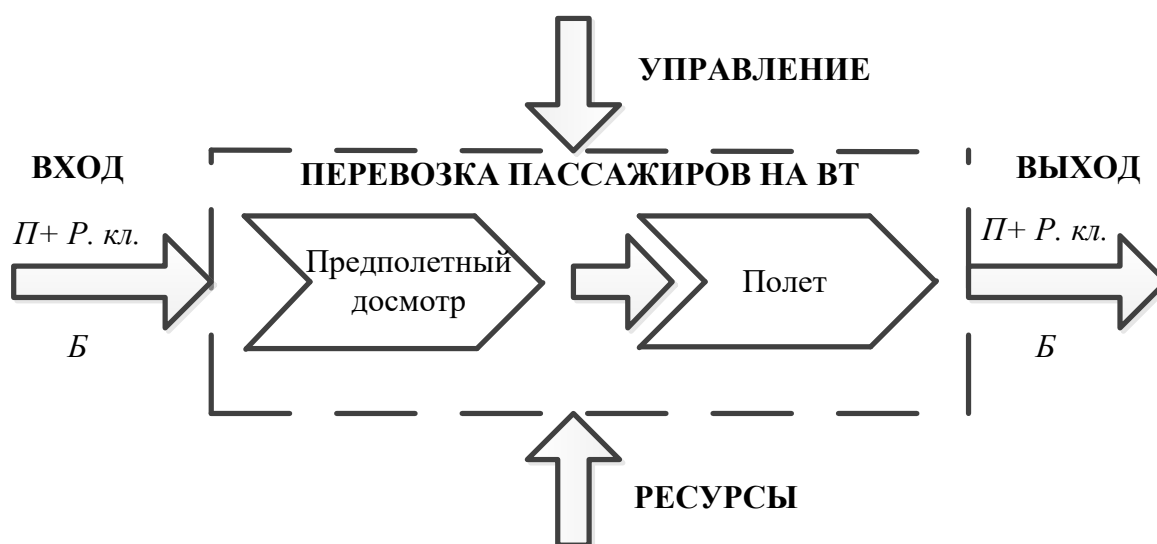


Рисунок 3.1 – Модель процесса перевозки пассажиров на ВТ

Модель процесса перевозки пассажиров на ВТ включает следующие элементы:

– входы процесса (материальные, технические – в данном случае: пассажиры *П*, ручная кладь *Р. кл.* и багаж *Б*);

- выходы процесса (материальные, технические – в данном случае: пассажиры *П*, ручная кладь *Р. кл.* и багаж *Б*);
- управляющие воздействия (внешняя и внутренняя нормативно-правовая база);
- ресурсы (персонал, материальные ресурсы, оборудование, производственная среда, информация, финансы и т.д.);
- показатели процесса.

Одними из элементов процесса являются показатели результативности процесса. Применение показателей направлено на оценку деятельности процесса, в том числе влияния процесса на авиационную безопасность. На основе показателей результативности процесса принимаются оптимальные решения, направленные на улучшение процесса. Показатели результативности процесса устанавливаются из условия возможности обеспечения по ним измерения степени влияния деятельности процесса на безопасность авиаперевозок. Показатели результативности процесса должны отвечать следующим требованиям:

- быть измеримыми для возможности проведения сравнительного анализа;
- отражать цель процесса и позволять оценить основную задачу процесса;
- реагировать на изменения процесса.

В случае, если показатели результативности процесса нельзя измерить инструментально, то такие показатели могут оцениваться экспертами. Показатель результативности процесса на основе экспертной оценки применяется с использованием группового мнения специалистов (экспертов). При этом для минимизации ошибок – применяются математические методы обработки результатов [59].

Применяя процессный подход к проведению предполетного досмотра на ВТ (рисунок 3.1) очевидно, что на входе процесса досмотра будут пассажиры, их ручная кладь, багаж. Именно они представляют потенциальную опасность на борту ВС несмотря на то, что досмотру также подвергается экипаж, бортовые запасы, почта, грузы и само ВС.

В процессе досмотра обнаруживаются опасные и запрещенные к перевозке предметы, объекты и на выходе остаются пассажиры, ручная кладь, багаж, грузы и почта, которые прошли досмотр и соответствуют требованиям для перевозки.

На эффективность процесса досмотра напрямую влияют ресурсы и меры управления. Соответственно, от того насколько рационально и правильно используются ресурсы, от того какие применяются меры управления, будет зависеть качество досмотра.

На основании того, что в настоящее время не существует абсолютно безопасных сложных производств [2, 4], как показывает практика, ни одна авиакомпания не может дать 100% гарантии того, что после проведения предполетного досмотра запрещенный к перевозке предмет (вещество), который в дальнейшем может использоваться для совершения АНВ, не окажется на борту ВС и не приведет к возникновению особых ситуаций. При этом целесообразно определить нормативные значения вероятностей (частоты) возникновения особых ситуаций на борту ВС «по вине» САБ. Для получения этих значений на основании процессного подхода воспользуемся нормативными значениями вероятностей (частоты) возникновения особых ситуаций на борту ВС, отнесенных к 1 час полета, которые впервые были определены в «Авиационных правилах. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории» [1]. (С 1 января 2023 г. действуют, гармонизированные с Авиационными правилами. Часть 25 и утвержденные руководителем Росавиации Нормы летной годности самолетов транспортной категории НЛГ 25). Эти значения представлены в таблице 3.1. Предварительно предлагается провести ранжирование тяжести происшествий в зависимости от возможных последствий.

В соответствии с положением «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» [90] величина индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях не должна превышать значение одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения точке. Это не противоречит предлагаемым значениям вероятностей возникновения особых ситуаций на борту ВС и «по вине» САБ

Таблица 3.1 – Нормативные и предлагаемые значения вероятностей возникновения особых ситуаций на борту ВС и «по вине» САБ

БП			АБ	
Особые ситуации	Вероятности $Q_{БП}$		Тяжесть последствий	Вероятности $Q_{АБ}$
	для элемента	для ВС		
КС	$< 10^{-9}$	$< 10^{-7}$	Катастрофическая	$< 10^{-9}$
АС	$10^{-9} \div 10^{-7}$	$10^{-7} \div 10^{-6}$	Критическая	$10^{-9} \div 10^{-7}$
СС	$10^{-7} \div 10^{-5}$	$10^{-6} \div 10^{-4}$	Значительная	$10^{-7} \div 10^{-5}$
УУП	$10^{-5} \div 10^{-3}$	$10^{-4} \div 10^{-2}$	Незначительная	$10^{-5} \div 10^{-3}$

где $Q_{БП}$ – нормативные значения вероятностей появления особых ситуаций (частота возникновения особых ситуаций) на борту ВС, отнесенных к 1 час полета [1];

$Q_{АБ}$ – по аналогии частота (вероятность) возникновения особых ситуаций «по вине» САБ, отнесенных к 1 рейсу.

Особые ситуации: КС, АС, СС, УУП – катастрофические, аварийные, сложные ситуации и усложнение условий полета.

Предлагаемые ранги тяжести происшествий воздушных пассажирских перевозок и их последствий, связанных с возникновением особых ситуаций «по вине» САБ представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Предлагаемые ранги тяжести происшествий и их последствий

Тяжесть происшествия	Последствия происшествия
Катастрофическая	Летальный (смертельный) исход
Критическая	Несчастный случай с инвалидным исходом
Значительная	Несчастный случай с временной потерей трудоспособности или большой материальный ущерб
Незначительная	Мелкий материальный ущерб

При этом сделаны следующие допущения:

– не обнаружение запрещенного к перевозке предмета (вещества) рассматривается как отказ в работе САБ;

– отказ оценивается через вероятность не обнаружения запрещенных к перевозке предметов (веществ);

– нормативные значения вероятности возникновения особых ситуаций «по вине» САБ нормируются на 1 рейс (если в результате проведения предполетного досмотра запрещенные к перевозке предметы не попадут на борт ВС, то во время полета они там не появятся).

Вероятность совершения террористического акта на борту воздушного судна будет определяться по формуле (3.1):

$$P_{ТА} = P_{пр} \cdot P_{реализ}, \quad (3.1)$$

где $P_{пр}$ – вероятность проноса на борт ВС запрещенных к перевозке предметов, которые можно использовать для совершения террористического акта – оружие, боеприпасы, взрывчатые вещества (ВВ), отравляющие вещества (ОВ), ядовитые вещества (ЯВ);

$P_{реализ}$ – вероятность приведения их в действие на борту ВС.

Вероятность проноса на борт ВС запрещенных к перевозке предметов будет зависеть от качества проведения предполетного досмотра в аэропорту и определяться формулой:

$$P_{пр} = 1 - P_{обн}, \quad (3.2)$$

где $P_{обн}$ – вероятность обнаружения запрещенных к перевозке предметов (веществ) при проведении предполетного досмотра.

3.2 Оценка уровня авиационной безопасности воздушных перевозок в аэропорту

В целях исключения неоднозначного трактования определяющих понятий, непосредственно связанных с понятием авиационной безопасности в дальнейшем, будут использоваться следующие определения [26, 27]:

«Риск: Следствие влияния неопределенности на достижение поставленных целей.

Примечание 1 – Под следствием влияния неопределенности необходимо понимать отклонение от ожидаемого результата или события (позитивное и/или негативное).

Примечание 2 – Цели могут быть различными по содержанию (в области экономики, здоровья, экологии и т. п.) и назначению (стратегические, общеорганизационные, относящиеся к разработке проекта, конкретной продукции и процессу).

Примечание 3 – Риск часто характеризуют путем описания возможного события и его последствий или их сочетания.

Примечание 4 – Риск часто представляют в виде последствий возможного события (включая изменения обстоятельств) и соответствующей вероятности.

Примечание 5 – Неопределенность – это состояние полного или частичного отсутствия информации, необходимой для понимания события, его последствий и их вероятностей».

«Критерий риска: Совокупность факторов, по сопоставлению с которыми оценивают значимость риска.

Примечание 1 – Критерии риска основаны на установленных целях организации, внешней и внутренней области применения организации.

Примечание 2 – Критерии риска могут быть сформированы на основе требований стандартов, политики, законодательных и иных требований».

«Событие: Возникновение или изменение специфического набора условий.

Примечание 1 – Событие может быть единичным или многократным и может иметь несколько причин.

Примечание 2 – Событие может быть определенным или неопределенным.

Примечание 3 – Событие может быть названо терминами «инцидент», «опасное событие» или «несчастный случай».

Примечание 4 – Событие без последствий (3.6.1.3) может также быть названо терминами «угроза возникновения опасного события», «угроза инцидента», «угроза поражения» или «угроза возникновения аварийной ситуации».

«Опасность: Источник потенциального вреда.

Примечание – Опасность может быть источником риска».

«**Последствие:** Результат воздействия события на объект.

Примечание 1 – Результатом воздействия события может быть одно или несколько последствий.

Примечание 2 – Последствия могут быть определенными или неопределенными, могут быть ранжированы от позитивных до негативных.

Примечание 3 – Последствия могут быть выражены качественно или количественно.

Примечание 4 – Первоначальные последствия могут вызвать эскалацию дальнейших последствий по принципу «домино».

«Уязвимость: Внутренние свойства или слабые места объекта, вызывающие его чувствительность к источнику риска, что может привести к реализации события и его последствий».

Рассмотрим возможность получения ТС (ВС) ущерба определенного вида, связанного с проносом на борт ВС запрещенных к перевозке предметов (веществ), которые могут использоваться для совершения террористического акта (рисунок 3.2).

Это становится возможным, если «нарушитель» не был обнаружен интегрированной системой безопасности аэропорта и предполетный досмотр не выявил у него запрещенные к перевозке предметы.

Введем следующие обозначения:

n – количество ТС, которые могут быть подвержены АНВ в данном аэропорту;

m – количество АНВ, характерных для ТС данного аэропорта;

k – количество видов ущербов, характерных для ТС данного аэропорта (людские, экономические, финансовые, политические, экологические, культурные);

B_i – множество угроз i – му ТС данного аэропорта;

Y_i – множество уязвимостей i – го ТС данного аэропорта к множеству угроз;

U_{il} – множество возможных ущербов l –го вида, которые может получить i –ое ТС.

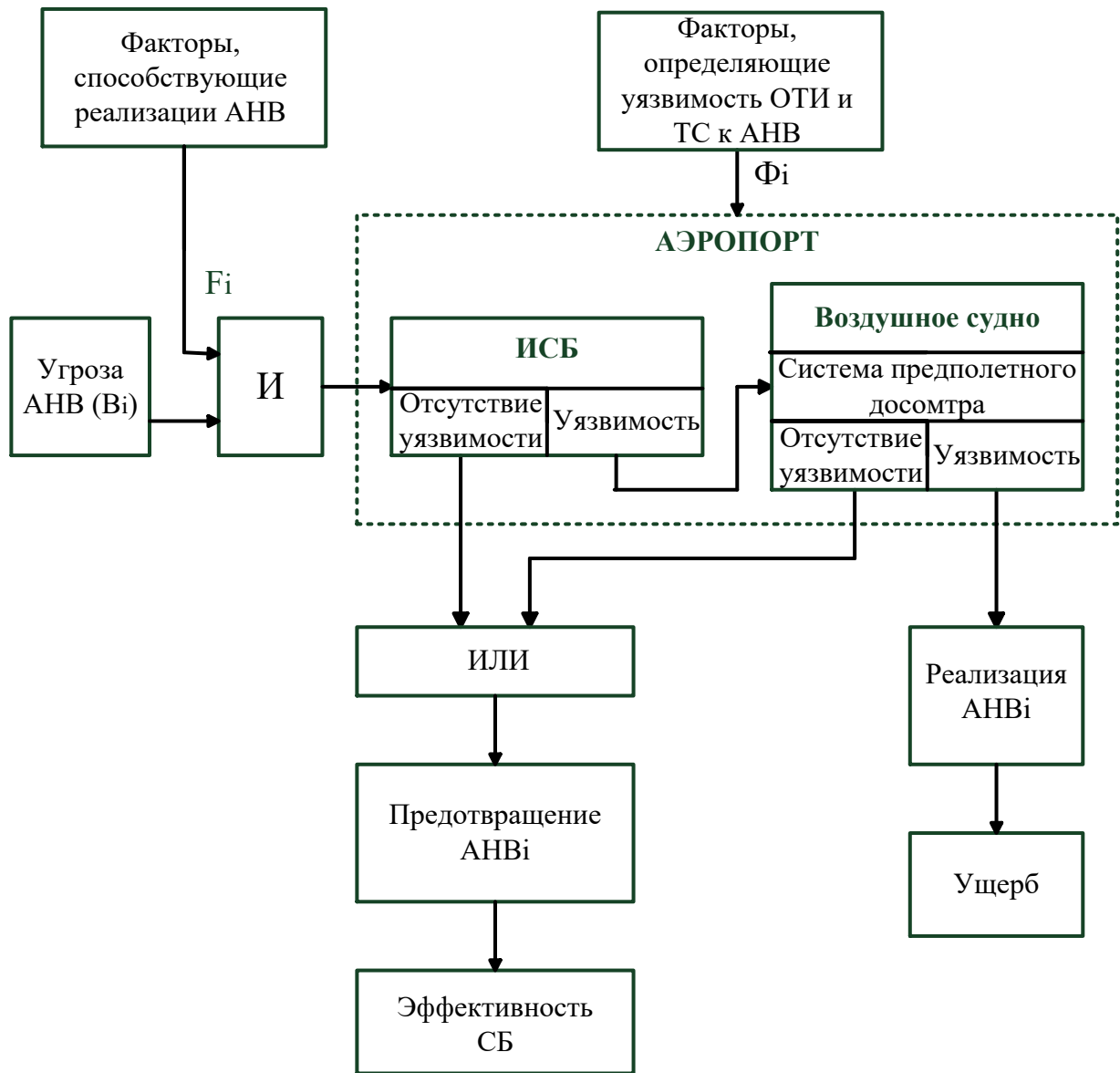


Рисунок 3.2 – Схема возможной реализации АНВ на воздушном судне

В общем виде риск R_{ijl} получения i –ым $(i = \overline{1, n})$ ТС ущерба l –го $(l = \overline{1, k})$ вида в результате реализации j –го $(j = \overline{1, m})$ АНВ на некотором временном интервале $\Delta T = [t_1, t_2]$ определяется следующим выражением:

$$R_{ijl} = f(b_{ij}, y_{ij}, u_{ijl}), \quad (3.3)$$

где b_{ij} – угроза реализации j –го АНВ в отношении i –го ТС $(b_{ij} \in B_i)$;

y_{ij} – уязвимость i –го ТС к j –му АНВ $(y_{ij} \in Y_i)$;

u_{ijl} – возможный ущерб l – го вида при реализации j – го АНВ в отношении i – го ТС ($u_{ijl} \in U_{il}$).

$P(b_{ij})$ – вероятность начала реализации угрозы (j – го АНВ в отношении i – го ТС) на некотором временном интервале $\Delta T = [t_1, t_2]$;

$$P(b_{ij}) = \alpha_{ij} \frac{1}{nm}, \quad (3.4)$$

где α_{ij} – коэффициент (элемент вектора приоритетов), учитывающий предпочтение успешной реализации j – го АНВ в отношении i – го ТС данного аэропорта на некотором временном интервале $\Delta T = [t_1, t_2]$, при этом:

$$\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} = 1, \quad (3.5)$$

Коэффициенты α_{ij} определяются экспертным путем (метод анализа иерархий) [76, 77, 78].

$P(y_{ij})$ – вероятность того, что уязвимость (недостатки в системе защиты) i – го ТС к j – му АНВ на некотором временном интервале $\Delta T = [t_1, t_2]$ будет способствовать началу реализации j – го АНВ в отношении i – го ТС;

$$P(y_{ij}) = \beta_{ij} \frac{1}{nm}, \quad (3.6)$$

где β_{ij} – коэффициент (элемент вектора приоритетов), учитывающий чувствительность системы безопасности i – го ТС к источнику потенциального вреда, вызывающего j – ый АНВ. Коэффициенты β_{ij} оцениваются специалистами-экспертами (метод анализа иерархий) [59, 76, 77, 78] и

$$\sum_{j=1}^m \beta_{ij} = 1. \quad (3.7)$$

Вероятность начала реализации j – го АНВ на i – м ТС на некотором временном интервале $\Delta T = [t_1, t_2]$ определяется по формуле [22, 23]:

$$P_{ij}^{AHB} = P(b_{ij})P(y_{ij}), \quad (3.8)$$

Таким образом, риск:

$$R_{ijl} = P(b_{ij})P(y_{ij})u_{ijl} = P_{ij}^{AHB}u_{ijl}. \quad (3.9)$$

Тогда обобщенный риск для ТС аэропорта будет определяться выражением:

$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k P(b_{ij})P(y_{ij})u_{ijl} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k \left(\alpha_{ij} \frac{1}{nm} \beta_{ij} \frac{1}{nm} u_{ijl} \right) = \\ &= \frac{1}{(nm)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k (\alpha_{ij} \beta_{ij} u_{ijl}) = \frac{1}{(nm)^2} (\alpha_{11} \beta_{11} u_{111} + \alpha_{11} \beta_{11} u_{112} + \dots + \alpha_{11} \beta_{11} u_{11k} + \alpha_{12} \beta_{12} u_{121} + \\ &+ \alpha_{12} \beta_{12} u_{122} + \dots + \alpha_{12} \beta_{12} u_{12k} + \dots + \alpha_{1m} \beta_{1m} u_{1m1} + \alpha_{1m} \beta_{1m} u_{1m2} + \dots + \alpha_{1m} \beta_{1m} u_{1mk} + \\ &+ \alpha_{21} \beta_{21} u_{211} + \alpha_{21} \beta_{21} u_{212} + \dots + \alpha_{21} \beta_{21} u_{21k} + \alpha_{22} \beta_{22} u_{221} + \alpha_{22} \beta_{22} u_{222} + \dots + \alpha_{22} \beta_{22} u_{22k} + \\ &+ \dots + \alpha_{2m} \beta_{2m} u_{2m1} + \alpha_{2m} \beta_{2m} u_{2m2} + \dots + \alpha_{2m} \beta_{2m} u_{2mk} + \dots + \alpha_{nm} \beta_{nm} u_{nm1} + \alpha_{nm} \beta_{nm} u_{nm2} + \dots \\ &+ \alpha_{nm} \beta_{nm} u_{nm2} + \dots + \alpha_{nm} \beta_{nm} u_{nmk}). \end{aligned} \quad (3.10)$$

Уровень авиационной безопасности $E_{без}$ воздушной перевозки (рисунок 3.3) для определенного аэропорта, конкретных условий и установленного (объявленного) уровня безопасности на ОТИ и ТС аэропорта определяется следующим выражением [22]:

$$E_{без} = R_{доп} - R_{прог}, \quad (3.11)$$

где $R_{доп}$ – значение допустимого риска получения ТС (ВС) ущерба;

$R_{прог}$ – значение прогнозируемого риска получения ТС (ВС) ущерба.

Для определения элементов векторов приоритетов α_{ij} и β_{ij} в формулах (3.4) и (3.6) используется экспертный метод оценки [49]. Для минимизации влияния «человеческого фактора» при обработке экспертных оценок используется специальный метод обработки экспертных суждений – метод анализа иерархий (МАИ), разработанный американским ученым Томасом Саати и впервые опубликованный в 1980 году [76]. Согласно этому методу выбранным критериям, эксперты устанавливают приоритеты на основе выбранной шкалы оценок (таблица 3.3), и после выполнения некоторых операций производится оценивание по всем показателям и выставляется оценка. Матрицы вычисления вектора приоритетов представлены в таблице 3.4. Суть данного метода заключается в

количественном представлении качественных суждений, в основе которого лежит попарное сравнение критериев и попарное сравнение альтернатив. Минимальное представление задачи выбора – это трехуровневая иерархия: альтернативы, критерии, цель [125].

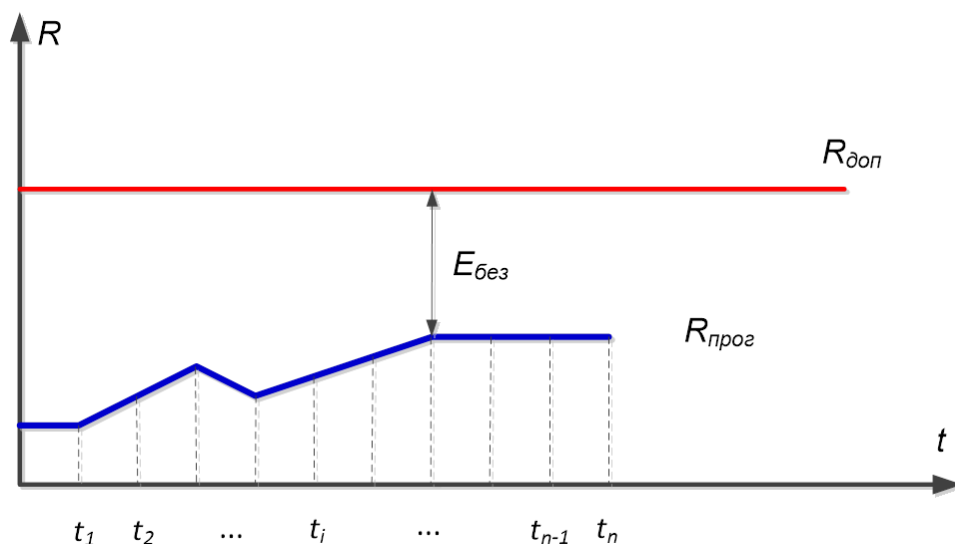


Рисунок 3.3 – Графическая интерпретация определения уровня авиационной безопасности воздушной перевозки

Таблица 3.3 – Шкала оценок (отношений) [76, 124]

Шкала интенсивности	Качественные суждения	Пояснения
1	Равная важность	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Умеренное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают легкое предпочтение одному действию перед другим
5	Существенное превосходство одного над другим	Опыт и суждения дают сильное предпочтение одному действию перед другим
7	Значительное превосходство одного над другим	Предпочтение одного действия над другим очень сильно, его превосходство практически явно
9	Очень сильное превосходство одного над другим	Свидетельство в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени убедительно
2,4,6,8	Соответствующие промежуточные значения	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение

Правильность суждений экспертов необходимо проверять на каждом этапе этого метода, для этого используются такие показатели, как индекс

согласованности (ИС) и оценка согласованности (ОС), которые рассчитываются по специальным формулам, данные показатели предоставляют информацию о степени нарушения согласованности [76, 77, 78].

Таблица 3.4 – Матрицы вычисления вектора приоритетов

Цель		<i>j</i>				$w_i = \left(\prod_{j=1}^n w_{ij} \right)^{1/n}$	$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$
		1	2	...	n		
<i>i</i>	1	w_{11}	w_{12}	...	w_{1n}	w_1	$\bar{w}_1$
	2	w_{21}	w_{22}	...	w_{2n}	w_2	$\bar{w}_2$
	...	...	...	...	...	...	...
	n	w_{n1}	w_{n2}	...	w_{nn}	w_n	$\bar{w}_n$
$K_j = \sum_{i=1}^n w_{ij}$		K_1	K_2	...	K_n	$\sum_{i=1}^n w_i$	$\sum_{i=1}^n \bar{w}_i = 1$

$$K_j = \sum_{i=1}^n w_{ij}, \quad (3.12)$$

где K_j – сумма i -х элементов в каждом j -м столбце матрицы парных сравнений;

w_{ij} – элемент i -й строки, j -го столбца матрицы парных сравнений;

i – индекс строки в матрице парных сравнений;

j – индекс столбца в матрице парных сравнений;

n – размерность матрицы парных сравнений.

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=j=1}^n K_j \cdot \bar{w}_i, \quad (3.13)$$

где $\lambda_{\max}$ – главное собственное число;

w_i – значение векторов приоритетов;

$\bar{w}_i$ – нормированное значение векторов приоритетов.

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (3.14)$$

где $ИС$ – индекс согласованности для рассматриваемой матрицы парных сравнений.

$$OC = \frac{ИС}{СИ} \times 100\%, \quad (3.15)$$

где OC – отношение согласованности;

$СИ$ – случайный индекс, зависящий от n .

Величина случайного индекса берется из таблицы соотношения между случайным индексом и размерностью матрицы парных сравнений (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Сгенерированные средние значения случайного индекса (СИ) для матриц порядка от 1 до 15 [78].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
СИ	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Необходимо, чтобы величина OC не превышала 10%. В некоторых случаях допускается значение OC не более 20%. Если условие не выполняется, необходимо предложить экспертам пересмотреть свои суждения [76, 78].

3.3 Концепция и методика квалитетического управления процессом досмотра багажа в системе управления авиационной безопасностью аэропорта

В современных системах управление авиационной безопасностью является организационно-нормативным, что уже не может соответствовать и удовлетворять изменяющимся и усложняющимся требованиям, которые определяются факторами внешней и внутренней среды и связаны с совокупностью потенциальных угроз аэропортовой деятельности. Оптимальное управление предполагает получение точной идентификации о параметрах управления и их количественную оценку.

Управление сложными системами [67] в различных сферах человеческой деятельности требует предварительного моделирования и оценки результатов принятия управленческих решений для исключения возможных нежелательных (катастрофических) последствий [39, 106]. Разрабатываемые в этих целях интеллектуальные системы поддержки принятия управленческих решений

основываются на моделировании систем и их поведения и должны содержать модели задач принятия решений [43].

Успех защиты воздушных судов от проведения АНВ на их борту во многом определяется степенью реализации возможностей сил, средств и ресурсов САБ аэропорта и обеспечивается управлением подготовкой и применением этих сил, средств и ресурсов в процессе проведения предполетного досмотра [106]. При этом под управлением понимается циклический процесс формирования и оказания управляющей подсистемой аэропорта управляющих воздействий на управляемую подсистему (в первую очередь, на силы и средства САБ и других подразделений, обеспечивающих безопасность аэропорта) для достижения поставленной цели. Степень реализации возможностей сил, средств и ресурсов САБ и других подразделений при обеспечении авиационной безопасности ВС определяется качеством принимаемых органами управления управляющей подсистемы решений.

Концепция квалитетического управления процессом контроля багажа – обоснование и описание способа квалитетического управления процессом обработки багажа, перевозимого в грузовом отсеке на основе определения коэффициентов отказа в пропуске багажа на каждом уровне досмотра.

В соответствии с рекомендациями ИКАО [72] соответствующему полномочному органу следует установить и контролировать *приемлемый коэффициент отказа в пропуске багажа для каждого уровня в системе многоуровневого досмотра багажа, перевозимого в грузовом отсеке*. Показатели, существенно ниже или выше этого значения, будут свидетельствовать о наличии аномалии в возможностях обнаружения и указывать на необходимость принятия соответствующим полномочным органом и/или полномочным органом аэропорта корректирующих действий, когда это применимо.

Разработанная на основе аппарата сетей Петри и реализованная в программной среде CPN Tools имитационная модель многоуровневой системы досмотра багажа (рисунок 2.9) позволяет получить необходимые данные для

расчета значений коэффициентов отказа в пропуске багажа для каждого уровня системы досмотра багажа.

Используя конкретные параметры и характеристики досмотрового оборудования, задавая требуемые погрешности измерения, модель позволяет получить данные для расчета минимальных, максимальных и средних значений коэффициентов отказа в пропуске багажа для каждого уровня системы досмотра багажа.

Отмеченный подход позволяет внедрить рекомендации ИКАО в практику работы САБ аэропорта.

Исходные данные:

Для моделирования процесса досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки необходимы следующие исходные данные:

- количество уровней досмотра в системе обработки багажа;
- технические характеристики досмотрового оборудования (вероятность обнаружения запрещенных к перевозке предметов и веществ, которые могут быть использованы для совершения АНВ, вероятность их ложного обнаружения);
- процент проверенного багажа на первых двух уровнях досмотра подлежащий повторной проверке на следующем уровне досмотра (в зависимости от установленного уровня безопасности на ОТИ и ТС) [39, 65, 66].

Принцип управления процессом контроля багажа заключается в определении с помощью, реализованной в программной среде CPN Tools, модели процесса досмотра багажа допустимых значений коэффициентов отказа в пропуске багажа $(a_{i\min}^{don}, a_{i\max}^{don})$ на каждом уровне системы досмотра. При значительном отклонении определяемых в ходе досмотра (с учетом объявленного уровня безопасности) этих коэффициентов от допустимых значений, принимать необходимые корректирующие действия.

Коэффициент отказа в пропуске багажа на i – м уровне досмотра α_i определяется по формуле:

$$a_i = \frac{n_i^{отк}}{n_i}, \quad (3.16)$$

где n_i – количество багажа, досмотренное на i – м уровне досмотра;

$n_i^{отк}$ – количество багажа, получившего отказ на i – м уровне досмотра;

$(a_{i\min}^{доп}, a_{i\max}^{доп})$ – минимальный (максимальный) приемлемый коэффициент отказа в пропуске багажа на i – м уровне досмотра;

$A_{без}$ – действующий (введенный), в рассматриваемый момент времени, уровень безопасности на данном ОТИ аэропорта [66].

Схема управления процессом досмотра багажа представлена на рисунке 3.4

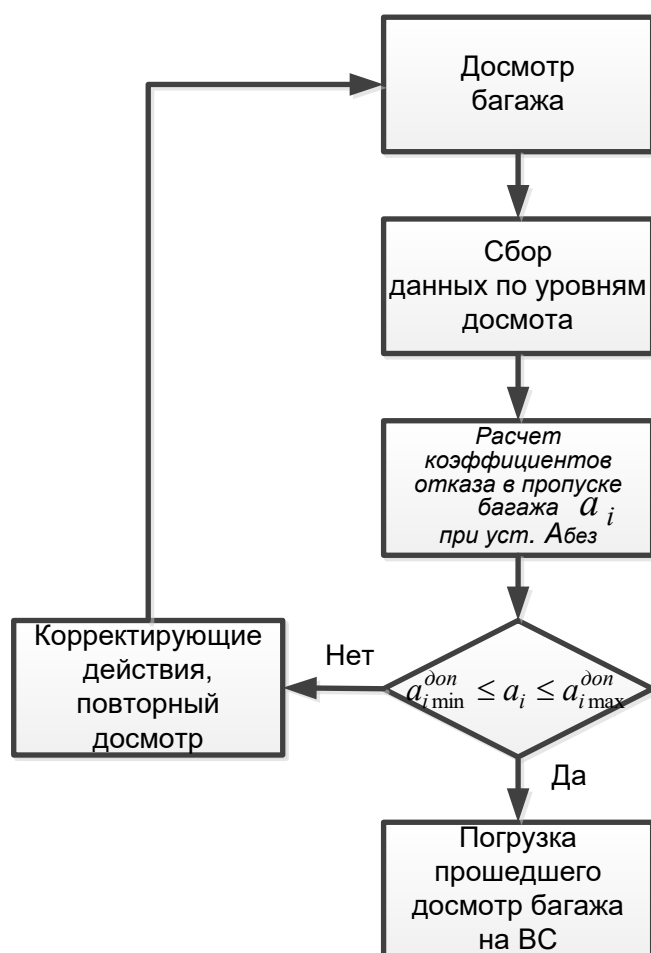


Рисунок 3.4 – Схема управления процессом досмотра багажа

Для имитационной модели пятиуровневой системы досмотра багажа, представленной на рисунке 2.9 с учетом, созданных в ней счетчиков (позиции p_6 , p_{19} , p_{22} , p_{23} , p_{24}), коэффициенты отказа в пропуске багажа по уровням досмотра (a_1 , a_2 , a_3 , a_4) вычисляются по следующим формулам:

$$\alpha_1 = \frac{n - n_{сч1}}{n}; \alpha_2 = \frac{n_{сч2} - n_{сч3}}{n_{сч2}}; \alpha_3 = \frac{n_{сч5}}{n_{сч4}}; \alpha_4 = \frac{n_{обн}}{n_{сч5}},$$

где $n_{сч1}$, $n_{сч2}$, $n_{сч3}$, $n_{сч4}$, $n_{сч5}$ – показания счетчиков (количество маркеров в позициях p_6 , p_{19} , p_{22} , p_{23} , p_{24}).

Порядок действий по управлению процессом досмотра багажа:

а) подготовительные мероприятия:

1. Уточнить структуру многоуровневой системы досмотра багажа, а также основные параметры и характеристики применяемого досмотрового оборудования (при необходимости, рассчитать их на основе статистических данных).

2. Сконфигурировать и адаптировать имитационную модель к реальной структуре многоуровневой системы досмотра багажа в аэропорту с учетом параметров и характеристик применяемого досмотрового оборудования и установленного (объявленного) уровня безопасности на ОТИ и ТС аэропорта.

3. Провести моделирование процесса досмотра багажа необходимое число раз для получения требуемой точности результатов моделирования [67].

4. На основе результатов моделирования рассчитать минимальные, максимальные и средние значения коэффициентов отказа в пропуске багажа для каждого уровня системы досмотра багажа (пример результатов моделирования представлен в таблице 3.6 и на рисунке 3.5).

б) в процессе досмотра:

1. С определенной периодичностью (например, через каждый 1 час работы) определять коэффициент отказа в пропуске багажа на каждом уровне досмотра и сравнивать его с допустимыми значениями.

2. При значительном отклонении определяемых в ходе досмотра (с учетом объявленного уровня безопасности) этих коэффициентов от допустимых значений, принимать необходимые корректирующие действия.

Таблица 3.6 – Пример результатов моделирования

n	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	
n_{оч1}	185	178	168	191	175	184	192	181	190	190	173	184	
n_{оч2}	108	114	108	90	100	106	93	102	100	104	120	100	
n_{оч3}	91	100	92	74	78	89	74	83	88	90	98	84	
n_{оч4}	20	15	18	21	28	22	20	25	14	21	24	19	
n_{оч5}	2	2	3	3	4	2	3	2	3	2	2	2	
n_{обн}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	$\alpha_{иср}$
α_1	0,26	0,29	0,33	0,24	0,30	0,26	0,23	0,28	0,24	0,24	0,31	0,26	0,27
α_2	0,16	0,12	0,15	0,18	0,22	0,16	0,20	0,19	0,12	0,13	0,18	0,16	0,16
α_3	0,10	0,13	0,17	0,14	0,14	0,09	0,15	0,08	0,21	0,10	0,08	0,11	0,13
α_4	0,50	0,50	0,33	0,33	0,25	0,50	0,33	0,50	0,33	0,50	0,50	0,50	0,42

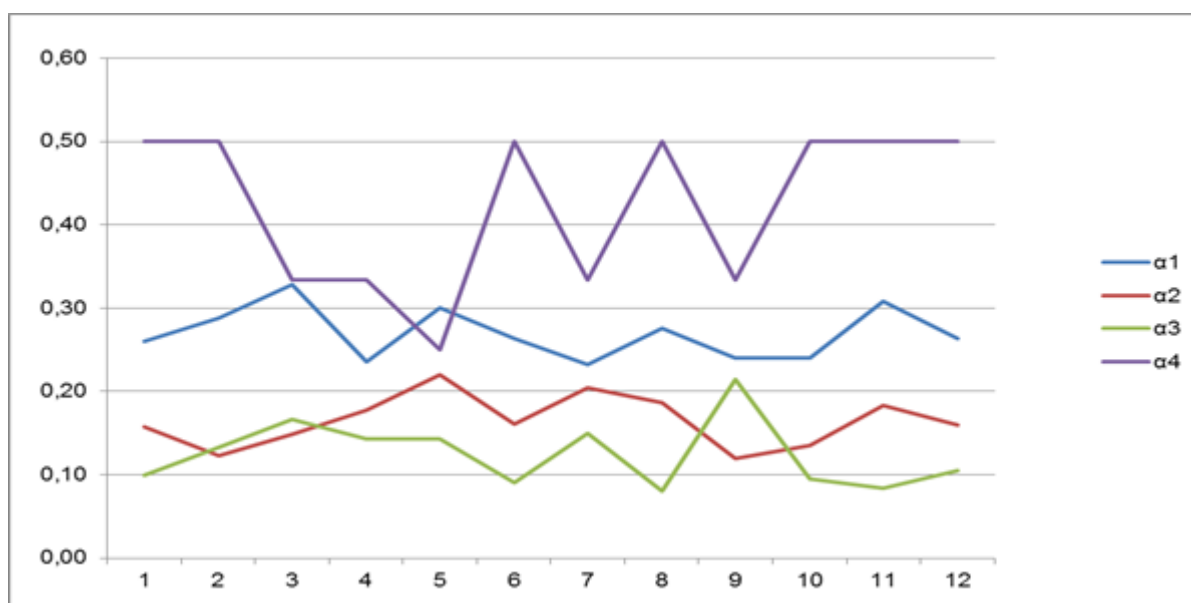


Рисунок 3.5 – Пример графического представления коэффициентов отказа в пропуске багажа α_i по уровням досмотра

С учетом технических возможностей современного досмотрового оборудования и при некоторой доработке программного обеспечения можно выводить результаты процесса досмотра на автоматизированное рабочее место (АРМ) должностного лица.

3.4 Анализ валидности разработанной методики

Для подтверждения валидности разработанной методики (экспериментального доказательства того, что методика пригодна для решения конкретной задачи), была проведена проверка соответствия полученных с помощью разработанной имитационной модели и рассчитанных выходных

данных (количество проверенного багажа, которому отказано в пропуске на погрузку на ВС и коэффициента отказа в пропуске багажа на каждом уровне досмотра) с имеющимися статистическими сведениями о реальной системе обработки багажа (СОБ) в Международном аэропорту «Шереметьево». Пример результатов анализа валидности разработанной методики для трех дней работы пункта досмотра багажа терминала D Международного аэропорта «Шереметьево» представлен в таблице 3.7.

По реальным данным для каждого из трех дней работы пункта досмотра с помощью имитационной модели проведено по 10 испытаний. Полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой степени совпадения экспериментальных данных с имеющимися статистическими сведениями, особенно по первому уровню досмотра багажа.

Рассчитанная по формуле (3.17) относительная погрешность δ не превышает 2%.

$$\delta = \frac{|x_{cp} - x_p|}{x_p} \cdot 100\%, \quad (3.17)$$

где x_{cp} – среднее значение количества проверенного багажа, которому отказано в пропуске на погрузку на ВС;

x_p – его реальное значение, соответствующее статистическим данным.

Значительное расхождение экспериментальных данных с имеющимися статистическими сведениями по второму уровню досмотра багажа объясняется тем, что полученные экспериментальные данные и статистические сведения относятся к международному терминалу. В этом терминале в процессе досмотра багажа участвует таможенная служба аэропорта, которая часть багажа, получившего от службы авиационной безопасности статус «соответствует», направляет сразу на ручной досмотр для выявления запрещенных к вывозу за границу предметов.

Таблица 3.7 – Пример результатов анализа валидности разработанной методики

Количество проверенного багажа, получившего статус «не соответствует»					Коэффициент отказа в пропуске багажа			
Всего	1 уровень		2 уровень		1 уровень		2 уровень	
	Модель	СОБ	Модель	СОБ	Модель	СОБ	Модель	СОБ
1 день								
6565	2443	2429	173	62	0,372	0,370	0,071	0,026
6565	2514		176		0,383		0,070	
6565	2507		185		0,382		0,074	
6565	2430		196		0,370		0,081	
6565	2415		191		0,368		0,079	
6565	2510		175		0,382		0,070	
6565	2462		174		0,375		0,071	
6565	2455		184		0,374		0,075	
6565	2434		190		0,371		0,078	
6565	2408		192		0,367		0,080	
2 день								
4267	1625	1579	115	122	0,381	0,370	0,071	0,077
4267	1637		114		0,384		0,070	
4267	1634		101		0,383		0,062	
4267	1574		107		0,369		0,068	
4267	1603		131		0,376		0,082	
4267	1635		120		0,383		0,073	
4267	1578		125		0,370		0,079	
4267	1613		102		0,378		0,063	
4267	1602		118		0,375		0,074	
4267	1611		99		0,378		0,061	
3 день								
6096	2283	2296	168	89	0,375	0,377	0,074	0,039
6096	2352		149		0,386		0,063	
6096	2257		146		0,370		0,065	
6096	2350		179		0,385		0,076	
6096	2320		154		0,381		0,066	
6096	2314		155		0,380		0,067	
6096	2303		184		0,378		0,080	
6096	2218		145		0,364		0,065	
6096	2317		162		0,380		0,070	
6096	2292		158		0,376		0,069	

Выводы по главе 3

1. Применение процессного подхода к обеспечению безопасности воздушных пассажирских перевозок позволило рассматривать перевозку пассажиров на ВТ как совокупность двух взаимосвязанных взаимодействующих процессов (предполетный досмотр и полет). Это дало возможность, на основе существующих нормативных значений вероятностей (частоты) возникновения особых ситуаций на борту ВС, предложить нормативные значения вероятностей (частоты) возникновения особых ситуаций «по вине» САБ, то есть предъявить нормативные требования к процессу предполетного досмотра с учетом тяжести возможных происшествий и их последствий.

2. Предложенная методика оценки рисков процесса предполетного досмотра позволяет прогнозировать количественные значения уровней безопасности воздушных перевозок в системе управления авиационной безопасностью аэропорта.

3. С учетом конкретных параметров и характеристик досмотрового оборудования аэропорта, на основе полученных с помощью разработанной имитационной модели экспериментальных данных и расчета допустимых значений коэффициентов отказа в пропуске багажа для каждого уровня досмотра в многоуровневой системе его обработке, имеется возможность осуществлять квалитетическое управление процессом контроля багажа в системе управления авиационной безопасностью аэропорта.

4. Проведенный анализ валидности разработанной методики свидетельствует о совпадении полученных экспериментальных данных с имеющимися статистическими сведениями с достаточно высокой точностью, относительная погрешность не превышает 2 процентов.

ГЛАВА 4 ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ АЭРОПОРТА

4.1 Человеческий фактор как важнейший элемент эргатической авиационной транспортной системы

Научно-техническая революция коренным образом повлияла на технические основы материального производства: сильно изменила условия, средства и характер труда. Благодаря ей быстрыми темпами происходит автоматизация многих производственных процессов. В транспортной сфере стали широко применяться вычислительная техника, роботы, различные автоматы.

Техническое перевооружение транспортной отрасли коренным образом изменило функции и роль человека. Многие, свойственные человеку, операции стали выполняться машинами, которые, какими бы сложными они ни были, являются лишь орудиями труда [33].

Внедрение новых технических решений и технологий привело к возрастанию интеллектуальной роли человека в процессе производства. Освобождаясь от необходимости выполнять частные рутинные операции, человек, используя информационные технологии, осуществляет контроль и регулирование огромных потоков энергии и информации сложных технологических процессов. При этом существенно возрастает уровень его ответственности и цена возможных ошибок. Например, если результатом ошибки рабочего-станочника может быть одна испорченная деталь; то ошибка оператора досмотровой техники при проведении предполетного досмотра может привести к человеческим жертвам [108, 109, 126].

Таким образом, развитие и усложнение техники на производстве приводит к возрастанию значения человеческого фактора, что, в свою очередь, требует изучения этого фактора и его учета при разработке и создании новой техники и технологических процессов, при организации производства и эксплуатации

оборудования. В свою очередь, успешное решение данной задачи влияет на эффективность производства и обеспечивает надежную эксплуатацию создаваемой техники.

Деятельность человека, пользующегося различными техническими средствами в ходе производства, должна рассматриваться во взаимосвязи с их функционированием [129]. Эта точка зрения привела к формированию понятия системы «человек–машина» (СЧМ). Машиной в СЧМ называется совокупность технических средств, используемых человеком-оператором в процессе своей деятельности. СЧМ и является объектом инженерной психологии. Под СЧМ понимается система, включающая человека-оператора (группу операторов) и технические средства, посредством которых осуществляется деятельность[33].

Широко используемое в современной жизни словосочетание «человеческий фактор» имеет совершенно разные толкования.

В социальной и гуманитарной литературе понятие «человеческий фактор» применяется для рассмотрения функционирования человека как субъекта деятельности в разных сферах социальной жизни. В технической же литературе это понятие исследуется, главным образом, в контексте проблем безопасности различных технических систем и обозначает интегральные характеристики связи человека и технического устройства, проявляющиеся в конкретных условиях их взаимодействия при функционировании эргатической системы.

В авиации «человеческий фактор» рассматривается как важнейшее условие, влияющее на уровень и определяющее состояние безопасности воздушных перевозок. Человек представляет собой сложную, мультикомпонентную, гипердинамичную, трудно прогнозируемую субстанцию и является наиболее важным и гибким элементом авиационно-транспортной системы, способным адаптироваться к конкретным условиям деятельности. При этом он также является и наиболее уязвимым с точки зрения возможности отрицательного влияния через его деятельность на функционирование авиационно-транспортной системы [47, 94].

Эффективность мер авиационной безопасности, прежде всего, определяется по показателям эффективности действий сотрудников службы авиационной безопасности, работающих на пунктах досмотра, то есть операторов досмотровой техники [20].

Опыты морфологического синтеза автоматизированных систем управления с учетом асимптотических возможностей элементов таких систем однозначно указывает на тот факт, что субъект в такой системе объективно является наиболее слабым звеном. Это объясняется высокой программно-аппаратной надежностью различных технических систем, устройств и технических средств автоматизированных систем, играющих вспомогательную роль в достижении целевой функции управления по сравнению с психологическими и физическими возможностями человека-оператора, который в конечном счете принимает окончательное решение, по интегральной оценке, объективных показателей, поступающих от технических элементов системы.

Известная статистика различных аварий и катастроф убедительно доказывает этот факт, представляя отрицательную роль субъекта от 20 до 30 процентов от общего числа нежелательных явлений и событий, попавших в статистический ряд [4]. При этом экстремальные оценки психологических и психофизиологических ограничений, свойственных оператору, при выполнении своих функциональных обязанностей показывают, что субъект с высокой вероятностью не застрахован от непреднамеренных ошибок (выполнения ошибочных действий) [41]. Эти ошибки связаны с проявлением «человеческого фактора» при взаимодействии человека и технических систем. Их причины могут быть связаны [28]:

- с влиянием внешних факторов;
- с физическим и психологическим состоянием человека;
- с ограниченностью, привлекаемых для поддержки и исполнения принятых решений ресурсов;
- с недостаточностью знаний и практического опыта;
- с отсутствием или неполной оценкой объективной информации;

– с жесткими требованиями по временным параметрам в системе обработки багажа, установленных руководящими документами.

Невыполнение поставленной задачи в силу причин, указанных выше, или выполнение запрещенного действия со стороны персонала, нарушающее установленный на рабочем месте регламент, оценивается как ошибка оператора.

Принципиально классифицировать ошибки субъекта в ходе реализации целевой функции управления можно по трем взаимоисключающим направлениям.

Во-первых, ошибки оператора, исключающие достижения целевой функции в силу слабой его профессиональной подготовки и отсутствия опыта оценить суть объективных параметров, сложившихся в конкретный временной интервал.

Во-вторых, произвольная ошибочная подмена истиной функции управления на ложную из-за ошибочного интегрирования объективных событий и выделения в качестве доминирующего несущественного фактора, полностью искажающего суть истиной целевой функции и отсутствие времени и опыта уяснить ложный характер изменения параметров истиной целевой функции.

В-третьих, потеря контроля над собственными действиями при выполнении функциональных обязанностей, например, в форс-мажорных обстоятельствах. Считается, что в указанных условиях программно-аппаратный комплекс работает в соответствии с техническими условиями и штатно. Заметно, что временной параметр в классификации ошибок оператора играет решающую роль.

В принципе нелинейная зависимость влияния череды событий на оператора совершать ошибочные действия известна. Особенно опасен для оператора переход от спокойного и размеренного хода событий к резкой смене темпа поступления новой информацией в реализации целевой функции и ее своевременной коррекции. Оптимальное качество работы оператора достигается при умеренных нагрузках. Однако, профессиональный оператор всегда должен быть готов к решению внезапно возникающих задач. При этом страх, беспокойство и испуг исключаются однозначно. Обычно работа оператора по коррекции целевой функции оценивается известным выражением:

$$T_{on} = b + d \cdot H = b + H / V_{on}, \quad (4.1)$$

где b – время адекватной реакции оператора на появление новой информации о контролируемом процессе, т.е. промежуток времени от момента проявления новой ситуации до начала реакции на нее оператора (от 0,2 с до 0,5 с); d – время энтропийного процесса, когда оператор решает задачу неопределенности: знакома ему возникшая ситуация или нет, известен ему способ решения возникшей задачи или в соответствии с постулатами морфологического синтеза необходимо искать оригинальное разрешение возникшей ситуации, при этом время переработки одной единицы информации составляет от 0,15 мин до 0,35 мин.; H – количество перерабатываемой информации в единицу времени; V_{on} (от 2 ед/с до 4 ед/с), или пропускная способность, характеризующая время, в течение которого оператор решает задачу построения концептуальной модели дальнейших действий, отвечая на два вопроса одновременно: что делать и какими средствами.

Профессионализм оператора характеризуется его умением безошибочно двигаться в последовательности действий от усвоения сути текущей задачи к формированию концептуальной модели, далее к выработке смысловой или семантической модели и наконец формированию формальной модели или программы действий. Не маловажную роль в профессионализме оператора играют его готовность к действию, способность восстановления или преодоления стрессовой ситуации, своевременностью и точностью решения возникших ситуаций.

Есть точное определение надежности системы. *Надежность системы – это ее свойство выполнять заданные функции в течение определенного времени при заданных условиях работы.* Надежность понимают, как совокупность трех свойств: безотказности, восстанавливаемости и долговечности. Основным понятием теории надежности является понятие *отказа*, под которым понимают случайное событие, состоящее в том, что система или ее элемент полностью или частично утрачивают работоспособность, в результате чего заданные системе или элементу функции не выполняются [2]. В системах обеспечения безопасности системный подход предполагает оценку человека как ее

компонента. При этом оценка надежности СЧМ основана на ряде допущений, позволяющих формализовать процедуру оценки надежности такой системы и оценить количественные показатели о вероятностях отказов или безошибочного выполнения оператором того или иного действия. Следует отметить активное внедрение в предметную область систем машинного обучения или систем искусственного интеллекта, когда множество признаков нарушений установленных регламентов известны системе распознавания образов, позволяющих, например, в совершенных рентгеноскопических установках оценивать ситуацию с контролем багажа в режиме 2D или 3D. Общей тенденцией совершенствования объектов СЧМ является постепенное снижения роли субъекта в принятии решения. Действительно, будем считать, что, с одной стороны, профессиональные характеристики субъекта-оператора высоки, но они из-за физиологических особенностей человека с высокой вероятностью могут деградировать в зависимости от неопределенности новых событий в реальном времени. С другой стороны, надежность технических решений в ходе развития микроэлектроники и вычислительной техники только повышается, и такие решения активно внедряются в практику обеспечения ОАБ.

Отказ техники и ошибка оператора становятся независимыми событиями в случаях невозможности их компенсирования, тогда вероятность их безотказной работы будет определяться по формуле:

$$P(t_0, t) = P_\tau(t_0, t) P_0(t), \quad (4.2)$$

где $P_\tau(t_0, t)$ – вероятность безотказной работы технических средств в течение времени $t_0 + t$,

$P_0(t)$ – вероятность безошибочной работы оператора в течение времени t при условии безотказной работы техники;

t_0 – общее время работы системы;

t – рассматриваемый период времени работы.

Сведения о вероятностях безошибочного выполнения операторами своих функциональных операций, связанных с проведением досмотра, можно найти в

соответствующей литературе или рассчитать на основе имеющихся статистических данных.

Учитывать человеческий фактор необходимо всегда в процессе эволюции системы «человек – машина».

Обобщенный показатель эффективности процесса досмотра багажа (вероятность обнаружения запрещенных к перевозке предметов, веществ) в идеальных условиях (правильная организация процесса досмотра, высокая профессиональная подготовленность операторов досмотра, надежная работа ТСД) принимается за 1,0, т. е. $P_{обн.и}=1,0$.

Любые технологические ошибки, связанные с человеческим фактором, будут снижать эффективность процесса досмотра багажа:

$$P_{обн.р} = P_{обн.и} (1 - k_1)(1 - k_2)(1 - k_3)(1 - k_4)(1 - k_5)(1 - k_6)(1 - k_7), \quad (4.3)$$

где k_1 – понижающий коэффициент, учитывающий недостатки в разработке должностных инструкций операторам процесса досмотра багажа;

k_2 – понижающий коэффициент, учитывающий формальный подход к исполнению должностных инструкций операторами процесса досмотра багажа;

k_3 – понижающий коэффициент, учитывающий недостатки в компетентности и уровне подготовки операторов досмотра багажа;

k_4 – понижающий коэффициент, учитывающий недостатки взаимодействия операторов досмотра со службой материально-технического обеспечения (несвоевременное информирование службы о необходимости технического обслуживания ТСД);

k_5 – понижающий коэффициент, учитывающий неправильный анализ информации, снижающий контроль над происходящей ситуацией;

k_6 – понижающий коэффициент, учитывающий недостатки в оперативности передачи информации;

k_7 – понижающий коэффициент, учитывающий снижение полноты передаваемой информации или ее достоверности.

Данная формула (4.3) показывает, что любая из ошибок, обусловленная человеческим фактором, может привести к значительному снижению эффективности процесса досмотра багажа.

4.2 Человеческий фактор в реализации квалиметрического метода управления авиационной безопасностью, оценки профессиональной компетентности и дополнительной подготовки персонала службы авиационной безопасности

Какими бы совершенными не были технические средства досмотра, результат предполетного досмотра во многом определяется человеческим фактором, то есть зависит от качества выполнения сотрудниками службы АБ своих функциональных обязанностей и соблюдения технологии досмотра [111, 112].

Безусловно, эволюция технических средств досмотра снижает вероятность человеческой ошибки, однако полностью исключить ее пока не может. Не существует универсального решения для устранения всех проблем, связанных с «человеческим фактором» – необходим комплексный, системный подход к повышению стандартов профессиональной подготовки, оценки и контроля качества работы специалистов, проводящих предполетный досмотр, особенно операторов досмотровой техники [20, 127].

Так, 10.10.2019 самолет, следовавший рейсом Москва – Бургас (Болгария), совершил вынужденную посадку в аэропорту города Ростова-на-Дону в связи с тем, что пассажир сообщил о наличии у него травматического пистолета и заявил, что готов добровольно передать его экипажу.

На записи с камер, установленных в пункте предполетного досмотра аэропорта Шереметьево, отчетливо видно, что в момент, когда сумка пассажира с травматическим пистолетом сканировалась на интроскопе, сотрудницы службы авиабезопасности были увлечены беседой. При этом отмечается, что на процедуре

предполётного досмотра пассажира заставили выложить пену для бритья, а вот пистолет не заметили.

По факту данного инцидента стал очевиден целый перечень проблем, связанных с работой персонала авиационной безопасности [110, 112]:

- ошибки, виной которым «человеческий фактор» – отвлечение на разговор, на телефонный звонок, сон на рабочем месте;
- недостаток квалификационных навыков, чтобы идентифицировать угрозу на рентгеновском изображении;
- умышленное игнорирование сотрудниками потенциально опасных вложений в багаже пассажиров – так называемая проблема инсайдерства.

Руководствуясь данной проблематикой, компания WEKEY разработала систему контроля состояния операторов рентгенотелевизионных установок «ОКО», которая сейчас проходит опытную эксплуатацию в крупнейших аэропортах страны. Система, построенная на базе технологии анализа видеоизображения и сверточной нейронной сети, отслеживает состояния сотрудников, оценивая работоспособность и уровень концентрации внимания.

Вопросы, связанные с циркуляцией, хранением и обработкой информации имеют важное значение в различных системах управления. Это связано с тем, что:

- во-первых, надежность, точность и быстродействие всей СЧМ зависит от точности и своевременности приема информации человеком, надежности ее хранения и воспроизведения, эффективности переработки;
- во-вторых, основная масса, допускаемых человеком, ошибок в конечном итоге связана с нарушениями информационного взаимодействия человека и машины.

Для эффективного и надежного функционирования СЧМ необходимо, чтобы, адресуемая человеку информация передавалась в наиболее удобной для ее восприятия, запоминания и осмысливания форме. При этом для обеспечения информационного взаимодействия СЧМ, особые требования предъявляются к органам управления [33, 129].

Ошибки в системе «человек–машина» чаще всего происходят из-за ограниченности психофизиологических возможностей человека (скорость передачи информации не соответствует возможностям органов чувств; формы сигналов затрудняют их осмысливание человеком и т. п.) и реже они связаны с его профессиональной подготовкой. Поэтому при разработке и создании новых образцов техники необходимо учитывать особенности восприятия информации человеком, закономерности его внимания, памяти и мышления и другие психические свойства человека. В противном случае в создаваемой технике будет «закладываться» человеческая ошибка [33].

В оценке влияния человеческого фактора на безопасность транспортной деятельности не учитывается влияние устойчивых факторов поведения человека, не зависящих от его текущего состояния, конкретных условий и продолжительности работы: мораль, воля и интерес. Исследования авторов, проведенные в [47] коренным образом, меняют существующее до сих пор мнение, что только усилиями, направленными на подбор персонала, обладающего определенными качествами, способностями и имеющими высокую профессиональную и психологическую подготовку, можно значительно повысить безопасность и увеличить эффективность транспортной деятельности. Без учета влияния таких ключевых поведенческих факторов как мораль, воля, интерес невозможно оптимизировать профессиональную деятельность на транспорте.

Однако, по отдельности эти фундаментальные поведенческие факторы не способны решить вопрос повышения безопасности на транспорте, только комплексное их воздействие и взаимосвязь обеспечит требуемый результат.

Качество подготовки оператора досмотровой техники [126] необходимо оценивать интегральным показателем соответствия совокупности его характеристик, как сотрудника САБ, полученных в результате обучения, воспитания, становления характера, развития как личности уровню знаний, умений и компетенций, необходимых для выполнения своих функциональных обязанностей по выявлению запрещенных к перевозке на ВС предметов (веществ). При этом управление процессом подготовки инспекторов досмотра на

квалиметрической основе предполагает наличие результатов количественного оценивания уровня их профессиональной подготовки. Для получения количественных оценок уровня профессиональной подготовки операторов досмотра автор предлагает использовать разработанную имитационную модель процесса контроля багажа в программной среде CPN Tools, в частности параметр – вероятность ложных тревог.

Основные способы избежать ошибки [111, 112, 119]:

- обеспечение повышения квалификации персонала и его обучение действиям в кризисных ситуациях на постоянной основе;
- детальная разработка должностных инструкций и осуществление постоянного контроля над их соблюдением всеми работниками;
- применение мер рекреации сотрудников;
- строгое соблюдение режима рабочего дня, не допускать переработку и свести к минимуму сверхурочные;
- осуществление постоянного контроля над имеющимися в распоряжении организации ресурсами;
- построение эффективной системы информационного обеспечения и анализа;
- повышение уровня автоматизации управленческих и производственных процессов предприятия;
- применение мер стимулирования сотрудников, поддержание их постоянного интереса к работе;
- построение эффективной системы подбора персонала;
- четкое распределение прав и ответственности за конкретные действия между сотрудниками;
- обеспечение понимания того, что ошибки неизбежны, препятствовать их появлению всеми перечисленными методами.

При этом недостаточно правильно организовать систему противодействия появлению ошибок, необходимо постоянно следить за ее правильным и эффективным функционированием и отслеживать сбои в работе.

4.3 Перспективы применения нейросетевых технологий на базе распознавания образов в системе квалиметрического управления процессом обработки багажа

Независимо от степени автоматизации системы «человек – машина», человек остается главным ее звеном. Он ставит перед системой цели, планирует и направляет процесс ее функционирования, обеспечивает контроль.

Для обеспечения высокой результативности любого производства, необходимо создание благоприятных, для осуществления трудовой деятельности человека, условий и наличие совершенной техники. При этом даже наличие хорошо адаптированной к человеку самой современной техники, не обеспечит высокую эффективность работы на ней без учета психофизиологических особенностей и свойств человека. Как показывают результаты исследований, большинство отказов, происшествий и аварий на производстве имеют эксплуатационные причины и связаны с ошибками человека из-за недостаточной организации трудовой деятельности, слабой технической подготовки персонала, нарушений и несоблюдение правил технической эксплуатации техники и требований безопасного обращения с ней. Поэтому важнейшей задачей на производстве является создание благоприятных условий для трудовой деятельности и инженерно-психологическое обеспечение эксплуатации СЧМ.

Этим занимается эксплуатационное направление инженерной психологии, решающее задачи [33]:

- профессиональной подготовки операторов для работы в СЧМ, связанные с вопросами разработки инженерно-психологических рекомендаций по профессиональному отбору, обучению и тренировкам операторов, формированию операторских коллективов и организации взаимодействия между ними;

- инженерно-психологического обеспечения научной организации труда операторов, сопряженного с решением задач оптимизации режимов и технологических графиков работы операторов, разработки режимов труда и отдыха, учета психологических факторов для создания безопасных условий труда,

разработки инженерно-психологических рекомендаций по построению и использованию эксплуатационно-технической документации;

– организации групповой деятельности, связанной с разработкой психологических основ комплектования групп операторов, обеспечением их совместимости в группе, анализом эффективности групповой деятельности и взаимодействия операторов разного уровня управления;

– медико-биологического и психологического обеспечения эффективной деятельности операторов, основанного на разработке методов повышения психологических характеристик операторов путем проведения специальных тренировок, стимуляции деятельности и повышения работоспособности операторов, организации контроля состояния и результатов работы оператора.

Современное высокоразвитое производство имеет ряд особенностей, существенно влияющих на деятельность операторов [33, 52, 53]:

1. Развитие техники неизбежно приводит к росту числа управляемых объектов, и контролируемых параметров.

2. С развитием системы дистанционного управления удаленными объектами, человек получает нужную информацию в виде показаний соответствующих измерительных приборов, индикаторов, датчиков, что требует дополнительного их осмысления.

3. Для осуществления управления сложными быстротечными производственными процессами возрастают требования к точности действий и скорости реакции операторов, что увеличивает их ответственность за выполняемые действия, т.к. ошибка оператора может нарушить работу СЧМ и привести к тяжелым последствиям. Поэтому возрастает нервно-психическая напряженность деятельности оператора.

4. В современных условиях, особенно при снижении двигательной активности операторов и несоответствии спроектированной техники психофизиологическим особенностям оператора, возможны «конфликты» человека с машинами.

5. Проявление эмоциональных и интеллектуальных перегрузок операторов из-за необходимости переработки большого количества информации и реакции на резкое изменение условий протекания процессов при возникновении в них каких-либо сбоев (отказов).

Все эти особенности, связанные с деятельностью операторов СЧМ, позволяют констатировать, что применяемые классические методы для оптимизации различных видов деятельности с учетом психологии и физиологии труда не достаточны, и необходимо выделить труд операторов в специфический вид профессиональной деятельности.

Несмотря на то, что деятельность оператора в СЧМ может носить самый разнообразный характер она может быть представлена в виде четырех основных этапов (таблица 4.1) [33]:

- прием информации;
- оценка и переработка информации;
- принятие решения;
- реализация принятого решения.

Таблица 4.1 – Этапы деятельности человека-оператора [33].

Этапы	Содержание	Выполняемые действия	Влияющие факторы
1	2	3	4
Прием информации	Формирование перцептивного (чувственного) образа.	Обнаружение — выделяется объект из фона. Различение — раздельное восприятие двух объектов, расположенных рядом, либо выделение деталей. Оpozнание — выделение и классификация существенных признаков объекта.	Сложность воспринимаемого сигнала, вид и количество индикаторов, организация информационного поля, размеры изображений, их светотехнические характеристики.
Оценка и переработка информации		Сопоставление заданных и текущих параметров (режимов) СЧМ. Анализ и обобщение информации.	Способы кодирования, степень сложности информационной модели, объем отображения, динамика смены информации.

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4
Принятие решения	Формирование последовательности целесообразных действий для достижения цели на основе преобразования исходных данных.	Поиск, выделение, классификация и обобщение информации о проблемной ситуации. Построение текущих образов с рядом оперативных концептуальных моделей. Сопоставление текущих образов с рядом эталонов и оценка сходства между ними. Коррекция моделей. Выбор эталонной гипотезы или построение ее. Принятие принципа и программы действий.	Тип решаемой задачи, число и сложность проверяемых логических условий, сложность алгоритма и количество возможных вариантов решения.
Реализация принятого решения	Использование выходных «каналов» человека: двигательного (моторного) или речевого.	Перекодирование принятого решения в машинный код. Поиск нужного органа управления. Движение руки к органу управления и манипуляция с ним.	Число и тип органов управления (ОУ), его характеристики (размер, форма и т.п.), совместимость двигательных операций, компоновка рабочего места, характеристики окружающей среды, индивидуальные характеристики операторов.

– *Этап приема информации.* Здесь осуществляется получение всей информации об объектах управления, свойствах окружающей среды и СЧМ, которые важны для выполнения, поставленной перед системой «человек – машина», задачи. На этом этапе происходит обнаружение сигналов, выделение из них наиболее важных, обеспечивается их расшифровка и декодирование; у оператора формируется предварительное представление о состоянии управляемого объекта: информация преобразуется к виду, пригодному для оценки и принятия решения [33].

– *Этап оценки и переработки информации.* Этот этап характеризуется тем, что здесь осуществляется сравнение требуемых и реальных режимов работы СЧМ, анализируется и обобщается информация, выделяются критичные объекты

и ситуации, и определяется очерёдность обработки информации в соответствии с критериями важности и срочности. При этом принятые способы кодирования информации и возможности по ее декодированию определяют качество выполнения этого этапа. На этом этапе операторы могут запоминать информацию, извлекать ее из памяти, декодировать и т. п. [33].

– *Этап принятия решения.* На этом этапе, на основе проведенного анализа и оценки информации, с учетом других известных сведений о СЧМ, принимается решение о дальнейших необходимых действиях. На время принятия решения существенно влияет наличие неопределенностей, т.е. оно зависит от энтропии множества решений [33].

Качество и эффективность выполняемых действий на каждом из этих этапов зависит от вида и количества используемых индикаторов, от способов организации информационного обеспечения, от самих психофизических свойств и характеристик, циркулирующей в СЧМ, информации.

На оценку и обработку информации существенно влияют способ кодирования и объем отображения информации, динамика ее смены, а также ее адаптация возможностям запоминания оператором и соответствие его мышлению.

На эффективность принятия решения влияют тип решаемой задачи, количество проверяемых логических условий и их сложность, число возможных вариантов решения и сложность их алгоритмов.

Управляющие воздействия оператора на СЧМ определяются количеством органов управления их типом и способом размещения, а также эргономическими особенностями системы.

При организации автоматизированных процессов необходимо обеспечить согласованность действий человека, учитывающих его психофизиологические особенности, с ходом технологического процесса.

Надежная деятельность оператора, имеющего непрерывный активный характер работы, в значительной степени определяется и обеспечивается организацией четкого ритма производственного процесса. Прерывистой характер работы способствует повышению нервно-психического напряжения в период

вработываемости (вхождения в работу) и приводит снижению работоспособности и наступлению быстрой утомляемости оператора. Поэтому необходимо стремиться к организации ритмичной работы со стабильным временем выполнения однотипных операций, что является признаком его высокой профессиональной подготовки.

Оценка стабильности может проводиться с помощью дисперсии времени выполнения однотипных заданий. Кроме того, для определения степени неритмичности может использоваться коэффициент неритмичности $K_{нр}$, определяемый по формуле [33]:

$$K_{нр} = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{\tau_{он}}, \quad (4.4)$$

где $\tau_{\max}$ и $\tau_{\min}$ – соответственно максимальное и минимальное значения времени выполнения однотипного задания;

$\tau_{он}$ – среднее значение этого времени.

Проведенный эксперимент, в котором операторы выполняли функции управления АСУ и в котором, в соответствии с установленными нормативами, оценивались по четырехбалльной системе результаты их подготовленности, позволил по формуле (4.4) для каждой из групп операторов определить значения коэффициента неритмичности. У операторов, получивших отличную оценку, значение $K_{нр}$ оказалось равным 0,47; у операторов, работа которых была оценена «удовлетворительно», значение $K_{нр}$ гораздо больше и равно 0,69. Эти данные показывают, что величина $K_{нр}$ действительно может характеризовать способность оператора к эффективной и производительной работе. Это обстоятельство должен учитывать конструктор, рекомендуя оптимальный режим труда и отдыха операторов создаваемой СЧМ [33, 129].

Эффективная работа человека в эргатической авиационной транспортной системе зависит от многих факторов, которые в общем виде можно описать следующим выражением:

$$\mathcal{E} = f(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9), \quad (4.5)$$

где x_1 – воля (волевые качества);

x_2 – мораль (нравственность);

x_3 – интерес (мотивация);

x_4 – уровень профессиональной подготовки;

x_5 – опыт работы;

x_6 – организация режима труда и отдыха;

x_7 – состояние здоровья;

x_8 – стрессоустойчивость;

x_9 – семейные и бытовые проблемы.

Для минимизации влияния ЧФ в реализации квалиметрического метода управления АБ необходимо на постоянной основе контролировать эти факторы в повседневной деятельности сотрудников САБ. При этом предлагается использовать возможности искусственного интеллекта для контроля перед началом работы персонала САБ температуры, давления, пульса. Также необходимо разработать перечень вопросов для оценки психологического состояния сотрудников САБ с помощью специальных роботов. Для оценки профессиональной компетентности инспекторов по досмотру багажа предлагается использовать разработанную имитационную модель (учитывать параметр P_{JT}^i – вероятность ложной тревоги на i -ом уровне досмотра, где задействован сотрудник САБ – оператор).

Создание новых архитектур и алгоритмов обучения, рост вычислительных мощностей современной компьютерной техники и наличие огромных баз данных, позволили добиться значительного успехов в компьютерном зрении, распознавании изображений, речи, обработке естественного языка и других задачах машинного обучения.

Перспективы применения нейросетевых технологий [51] и методов машинного обучения на базе распознавания образов в системе квалиметрического управления процессом обработки багажа позволят повысить эффективность процесса досмотра и сократить время его проведения.

Выводы по главе 4

1. Современный уровень развития науки и техники способствует повышению интеллектуальной составляющей роли человека в функционировании сложных организационно-технических систем, то есть возрастанию значения «человеческого фактора», особенно в контексте обеспечения безопасности большого количества людей, где цена возможной ошибки очень велика. Учитывая свойственные сотруднику САБ, как и любому человеку, психологические и психофизиологические ограничения, а также возможность отрицательного влияния через его деятельность на безопасность воздушных перевозок, при организации и функционировании эргатических систем, связанных с проведением досмотра, необходимо учитывать «человеческий фактор» при организации взаимосвязи и взаимодействия технических элементов системы и операторов досмотра.

2. Для контроля качества профессиональной подготовки операторов досмотра багажа предложено использовать разработанную имитационную модель процесса досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки, которая позволяет путем подбора параметров процесса досмотра получить значение вероятности ложных тревог, особенно тех уровней досмотра, где задействованы операторы.

3. В целях повышения точности и надежности технологических процессов выявления запрещенных к перевозке предметов (веществ), минимизации влияния «человеческого фактора» на процесс досмотра багажа предлагается использовать сверточные нейронные сети, машинное обучение и искусственный интеллект для решения задач интерпретации рентгеновских изображений с учетом факторов их сложности.

.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, поставленная в работе научная задача по развитию методов защиты объектов ВТ от несанкционированного вмешательства в авиационную деятельность решена.

В диссертационной работе рассмотрен комплекс вопросов, связанных с разработкой и исследованием процесса предполетного досмотра в целях получения количественных оценок качества его проведения в системе управления АБ в аэропорту. В ходе проведенных исследований получены следующие результаты:

1. На основе проведенного анализа состояния авиационной безопасности в ГА РФ установлены недостатки и проблемы, снижающие уровень авиационной безопасности аэропорта.

2. Обоснованы количественные показатели безопасности в системе предполетного досмотра, которые на основании процессного подхода к перевозке пассажиров на воздушном транспорте позволили предложить нормативные значения вероятностных характеристик возникновения особых ситуаций на борту воздушного судна «по вине» службы авиационной безопасности.

3. С учетом требований норм летной годности самолетов транспортной категории сформулированы критерии ранжирования тяжести происшествий, связанных с недостатками проведения предполетного досмотра, предполагающие их возможные последствия.

4. Предложена методика количественной оценки рисков процесса предполетного досмотра для оценки уровня безопасности воздушных перевозок в системе управления авиационной безопасностью аэропорта, учитывающая согласованность мнений экспертов.

5. Разработана имитационная модель системы предполетного досмотра с помощью аппарата сетей Петри, позволяющая наиболее наглядно осуществлять верификацию протокола обеспечения авиационной (транспортной) безопасности процесса предполетного досмотра в аэропорту.

6. Проведено испытание разработанной имитационной модели многоуровневой системы досмотра багажа, реализованной в программной среде CPN Tools, при этом относительная погрешность не превышает 2%. Это позволило с учетом вводимого (устанавливаемого) в аэропорту уровня безопасности определять оптимальные значения коэффициентов возврата багажа на дополнительный досмотр на другие уровни.

7. Предложена авторская технология квалитетического управления процессом досмотра багажа в аэропорту, показавшая, что применение на практике процедуры повторного досмотра на следующих уровнях части багажа, прошедшего удовлетворительную проверку на первом и втором уровнях досмотра, позволяет снизить коэффициент пропуска «закладок» примерно на 3,5%.

Перспективным направлением дальнейших исследований предметной области является анализ различных структурных, функциональных и процессуальных аспектов динамических дискретных моделей сложных организационно-технических систем обеспечения безопасности авиапредприятий и изучение логико-временных особенностей процессов их функционирования, учитывающих различные факторы неопределенности с применением нечетких сетей Петри (НСП).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АБ – авиационная безопасность;
- АНВ – акт незаконного вмешательства;
- АОС – автоматизированная обучающая система;
- АПК – аппаратно-программный комплекс;
- АРМ – автоматизированное рабочее место;
- ВВ – взрывчатое вещество;
- ВУ – взрывное устройство;
- ГА – гражданская авиация;
- НСП – нечеткие сети Петри;
- ОАБ – обеспечение авиационной безопасности;
- ОВ – отравляющее вещество;
- ОТИ и/или ТС – объект транспортной инфраструктуры и/или транспортное средство;
- ПИОП – проецирование изображений опасных предметов;
- РФ – Российская Федерация;
- САБ – служба авиационной безопасности;
- ТС ОАБ – технические средства обеспечения авиационной безопасности;
- ТСД – технические средства досмотра;
- ФАС – Федеральная авиационная служба;
- ЯВ – ядовитое вещество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории» (утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства от 11.12.2008)
2. Акимов, В. А. Надежность технических систем и техногенный риск. / [В. А. Акимов и др.] – ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 – 368 с.
3. Акимов, В. А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М. : «ФИД» Деловой экспресс, 2001. – 344 с.
4. Акимов, В. А. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев. – М. : Деловой экспресс, 2004. – 352 с.
5. Акофф, Р. Л. О целеустремленных системах. / Р. Л. Акофф, Ф. Э. Эмери. Пер. с англ. Г.Б. Рубальского; под ред. И.А. Ушакова. – М. : Советское радио, 1974. – 271 с.
6. Аржаков М. В. Моделирование систем / М. В. Аржаков, Н. В. Аржакова, В. К. Голиков; под ред. В. И. Новосельцева. – Воронеж : Научная книга, 2005. – 216 с.
7. Аэропорты + биометрия = безопасность, комфорт и оптимизация затрат. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: https://www.tourismsafety.ru/news_one_5318_29.html / (дата обращения: 11.02.2021)
8. Безопасность – защита гражданской авиации от актов незаконного вмешательства. Приложение 17 к Чикагской конвенции о международной организации гражданской авиации. Изд. 9. Монреаль: ИКАО, 2011. – 60 с.
9. Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью. (Методические рекомендации). Рук. авт. коллектива Н. А. Махутов, К. Б. Пуликовский, С. К. Шойгу. – М. : МГФ «Знание», 2008. – 672 с.

10. Бенькович, Е. С. Практическое моделирование динамических систем / Е. С. Бенькович, Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченко. – СПб. : БХВ–Петербург, 2002. – 464 с.
11. Благоразумов А. К. О некоторых аспектах и тенденциях внедрения информационных систем мониторинга безопасности авиационной деятельности / А. К. Благоразумов, Г. Е. Глухов, И. Г. Кирпичев // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2015, № 10 (321). С. 57–67.
12. Блюмин, С. Л. Окрестностное моделирование сетей Петри: монография / С. Л. Блюмин, А. М. Шмырин, И. А. Седых, В. Ю. Филоненко. – Липецк : ЛЭГИ, 2010. – 124 с.
13. Борисов В. В. Нечеткие модели и сети. – 2-е изд., стереотип. / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. - Москва : Горячая Линия–Телеком, 2012. - 284 с. - ISBN 978-5-9912-0283-1. - URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/333368/reading> (дата обращения: 11.10.2022). - Текст: электронный.
14. Бугаков, А. Совершенствование досмотровых мероприятий в аэропорту Шереметьево. / А. Бугаков // Журнал «Системы безопасности». – 2020, № 2 (152). С. 82–83.
15. Бурков В. Н. Теория активных систем: состояние и перспективы. – М. : Синтез, 1999. – 128 с.
16. Вильсон, А. Д. Энтропийные методы моделирования сложных систем / А. Д. Вильсон. – М. : Наука, 1978. – 248 с.
17. Воздушный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон Российской Федерации от 19.03. 1997 № 60–ФЗ.
18. Волков, А. К. Применение имитационного моделирования для оценки эффективности комплекса технических средств досмотра / А. К. Волков, В. В. Юдаев // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016 : матер. междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – Т. 2. – С. 202–206.
19. Волков, А. К. Применение математических моделей в системе авиационной безопасности (на примере модели оператора рентгентелевизионного интроскопа) / А. К. Волков, В. В. Юдаев // Гражданская

авиация: XXI век : сборник материалов VII Международной молодежной научной конференции 9–10 апреля 2015 г. – Ульяновск : УВАУ ГА (И), 2015. – С. 63–64

20. Волков, А. К. Применение энтропийно-вероятностной модели оператора рентгентелевизионного интроскопа в алгоритме работы компьютерного тренажера в процессе подготовки сотрудников пункта досмотра / А. К. Волков, В. В. Юдаев, Л. В. Кузоваткина // Научный вестник МГТУ ГА. – 2016. – Т. 19 (4). – С. 113–117.

21. Волынский-Басманов, Ю. М. Опыт подготовки персонала вопросам защиты от терроризма на воздушном транспорте / Ю. М. Волынский-Басманов, В. Ю. Волынский, Г. И. Цыгулев // Терроризм на воздушном транспорте: Материалы II междунар. научно-практической конф. – 2003. – С. 116–121.

22. Гипич, Г. Н. Риски и безопасность авиационных систем: монография / [Г. Н. Гипич и др.]. – М. : ФГУП ГосНИИ ГА, 2013. – 232 с.

23. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. Пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М. : Высшая школа, 2003. – 479 с.

24. Горбунов, С. В. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / С. В. Горбунов, Ю. Д. Макиев, В. П. Малышев // Технологии гражданской безопасности. – 2012. – Т. 9. – № 1. – С. 70–79.

25. Губанов, В. А. Введение в системный анализ / В. А. Губанов, В. В. Захаров, А. Н. Коваленко. – Ленинград : ЛГУ, 1988. – 232 с.

26. ГОСТ Р 51897 – 2011. Менеджмент риска. Термины и определения. – Введ. 2012-12-01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 12 с.

27. ГОСТ Р 55584–2013. Воздушный транспорт. Обеспечение авиационной безопасности в аэропортах. Термины и определения. – Введ. 2014-07-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 12 с.

28. ГОСТ Р 57236–2016. Воздушный транспорт. Система менеджмента безопасности авиационной деятельности. База данных. Авиационные риски, возникающие при производстве определенных видов операционной деятельности: транспортные виды. – Введ. 2017-07-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 20 с.

29. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – Введ. 2015-11-01. – М. : Стандартиформ, 2019. – 48 с.
30. ГОСТ Р 56461-2015. Безопасность транспортная. Общие Требования. – Введ. 2016-10-01. – М. : Стандартиформ, 2015. – 11 с.
31. Доклад «Об итогах работы Федерального агентства воздушного транспорта в 2019 году, основных задачах на 2020 год и среднесрочную перспективу». [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://favt.gov.ru/ro-saviacii-kollegija-materially> / (дата обращения: 29.04.2021)
32. Доклад «Об итогах работы Федерального агентства воздушного транспорта в 2020 году, основных задачах на 2021 год и среднесрочную перспективу». [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://favt.gov.ru/ro-saviacii-kollegija-materially> / (дата обращения: 29.04.2021)
33. Душков, Б. А. Основы инженерной психологии : учебник для вузов / Б. А. Душков, А. В. Королев, Б. А. Смирнов. – 3-е изд. – Москва : Академический проект; Екатеринбург : Деловая книга, 2002. – 574 с.
34. Елисов, Л. Н. Введение в теорию авиационной безопасности / Л. Н. Елисов, Н. И. Овченков, Р. С. Фадеев; под. ред. Л. Н. Елисова. – Ярославль : Филигрань, 2016. – 320 с.
35. Emirates начала использование интегрированного биометрического коридора в аэропорту, повышая стандарты обслуживания клиентов [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.aviaru.net/pr/59994/> (дата обращения: 04.05.2021).
36. Зубков, Б. В. Авиационная безопасность : учебник для вузов / Б. В. Зубков, С. Е. Прозоров, С. И. Краснов, В. М. Ильин; под ред. С. Е. Прозорова. – Ульяновск : УВАУ ГА (И), 2014. – 411 с.
37. Зубков, Б. В. Методика оптимизации состава комплекса технических средств обеспечения авиационной безопасности / Б. В. Зубков, А. К. Волков, А. К. Волков // Научный вестник МГТУ ГА. – 2016. – № 225 (3). – С. 105–111.
38. Зубков, Б. В. Подход к оценке эффективности функционирования службы авиационной безопасности авиапредприятия с использованием

сетей Петри / Б. В. Зубков, В. В. Юдаев, Ю. А. Вербицкий // Научный вестник МГТУ ГА. – № 218 (8). – М. : МГТУ ГА, 2015. – С. 71–75.

39. Зубков, Б. В. Управление процессом досмотра багажа на основе количественной оценки качества его проведения в многоуровневой системе обработки / Б. В. Зубков, Н. И. Овченков, В. В. Юдаев // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2017. Материалы Международной научно-практической конференции. 14–15 ноября 2017 г. СПб. : ИПТ РАН. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 223–226.

40. Катулев, А. Н. Математические модели в системах поддержки принятия решений / А. Н. Катулев, Н. А. Северцев. – Москва : Высш. шк., 2005. – 311 с.

41. Комашинский, В. И. Когнитивные кибер-физические системы транспортной безопасности / В. И. Комашинский, Д. В. Комашинский, О. А. Михалев, В. В. Юдаев // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016. Материалы Международной научно-практической конференции. 29–30 ноября 2016 г. СПб. : ИПТ РАН. – Санкт-Петербург, 2016. Том 2. – С. 148–153.

42. Котов, В. Е. Сети Петри. / В. Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 160 с.

43. Краснов, С. И. Применение математического моделирования в сфере обеспечения авиационной безопасности : учеб. пособие / С. И. Краснов, А. М. Лебедев, Н. В. Павлов. – Ульяновск : УВАУ ГА(И), 2011. – 121 с.

44. Краснов, С. И. Разработка критериев качества авиационной безопасности на основе квадратичной зависимости ущерба от отклонения параметров системы / С. И. Краснов, А. М. Лебедев // Научный вестник МГТУ ГА, – 2011. – №174. – С. 66–68.

45. Лескин, А. А. Сети Петри в моделировании и управлении / А. А. Лескин, П. А. Мальцев, А. М. Спиридонов. – Л. : Наука, 1989. – 133 с.

46. Литвак, Б. Г. Экспертные технологии управления. / Б. Г. Литвак. – 2-е изд. – М. : Дело, 2004. – 398 с.

47. Маринов, М. Л. Проблемы и перспективы оценки человеческого фактора в транспортной деятельности / М. Л. Маринов // Сборник трудов V Международного форума «Безопасность на транспорте». – 2015. – С. 114–116.

48. Михайлов, Ю. Б. Научно-методические основы обеспечения безопасности защищаемых объектов / Ю. Б. Михайлов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2016. – 322 с.: ил.

49. Михайлов, Ю. Б. Безопасность на транспорте и ее количественная оценка / Ю. Б. Михайлов, Ю. М. Волынский-Басманов. – М. : НУЦ «АБИНТЕХ», 2012. – 268 с.

50. Налобин, Н. В. Организация системы авиационной безопасности аэропорта на основе методов количественной оценки ее состояния : дис. ... канд. техн. наук. – 05.02.22 / Николай Валентинович Налобин. – М., 2005. – 197 с.

51. Николенко, С. Глубокое обучение: Погружение в мир нейронных сетей / С. Николенко, А. Кадури, Е. Архангельская – Санкт-Петербург – Глубокое обучение. – СПб. : Питер, 2018 – 480 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»).

52. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. – М. : МПСИ, 2005. – 584 с.

53. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. — 3-е изд., испр. и дополн. – Москва : Издательство физико-математической литературы, 2012. – 604 с.

54. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: качественный подход. / В. Д. Ногин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 176 с.

55. О Федеральной системе обеспечения защиты деятельности гражданской авиации от актов незаконного вмешательства : Постановление Правительства РФ от 30.07.1994 № 897.

56. Об утверждении Перечня потенциальных угроз совершения актов незаконного вмешательства в деятельность объектов транспортной инфраструктуры и/или транспортных средств : Приказ Минтранса России, ФСБ России, МВД России от 05.03.2010 № 52/112/134.

57. Об утверждении Правил проведения досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра в целях обеспечения транспортной безопасности : Приказ Минтранса России от 23.07.15 № 227. – Введ. 24.03.16.

58. Об утверждении Правил проведения предполетного и послеполетного досмотра : Приказ Минтранса России от 25.07.07 № 104. – Введ. 09.08.07.

59. Орлов, А. И. Опыт экспертного оценивания условных вероятностей редких событий при разработке автоматизированной системы прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий. / А. И. Орлов, Ю. Г. Савинов, А. Ю. Богданов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Том 14. № 4(2). С.501–506.

60. Орлов, А. И. Теория принятия решений : учебн. пособие / А. И. Орлов. – Москва : Март, 2004. – 656 с.

61. Орлов, А. И. Теория принятия решений. / А. И. Орлов. – М. : Экзамен, 2006. – 576 с.

62. Пиджаков, А. Ю. Транспортная и авиационная безопасность: проблемы правового регулирования. / А. Ю. Пиджаков // Сборник докладов III конференции по воздушному праву. – 2013. – С. 48–55.

63. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: [пер. с англ.] / Дж. Питерсон. – М. : Мир, 1984. – 264 с.

64. Постановление Правительства РФ от 05.10.2020 N 1604 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, учитывающих уровни безопасности для транспортных средств воздушного транспорта»

65. Постановление Правительства РФ от 05.10.2020 N 1605 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры воздушного транспорта»

66. Постановление Правительства РФ от 29.12.2020 N 2344 «Об уровнях безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств и о порядке их объявления (установления)»

67. Прангишвили, И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами / И. В. Прангишвили. – М. : Наука, 2003. – 428 с.

68. Приказ Минтранса России от 15.07.1994 № 76 «Положение о службе авиационной безопасности аэропорта».

69. Приказ Минтранса России от 28.11.2005 № 142 (ред. от 12.02.2018) «Об утверждении Федеральных авиационных правил "Требования авиационной безопасности к аэропортам».

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

71. Распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р (ред. от 12.05.2018) «О Транспортной стратегии Российской Федерации».

72. Руководство по авиационной безопасности / утв. Ген. секретарем и опубл. с его санкции. – 8-е изд. – Канада, Монреаль : ИКАО, 2011. – 748 с.

73. Руководство по непрерывному мониторингу в рамках Универсальной программы проверок в сфере обеспечения авиационной безопасности. Дос. 9807. 2-е изд. – Монреаль: ИКАО, 2016. – 126 с.

74. Руководство по организации контроля за обеспечением авиационной безопасности Дос 10047. 1-е изд. – Монреаль : ИКАО, 2015. – 72 с.

75. Руководство по управлению безопасностью полетов. Дос 9859. 3-е изд. – Монреаль : ИКАО, 2013. – 300 с.

76. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

77. Саати, Т. Л. Математические модели конфликтных ситуаций : пер. с англ. / Т. Л. Саати ; под ред. И. А. Ушакова. – М. : «Сов. радио», 1977. – 304 с.

78. Саати, Т. Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети : пер. с англ. / Т. Л. Саати ; науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – Изд. 3-е. – Москва : ЛИБРОКОМ, 2011. – 360 с.

79. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2 изд., испр. – М. : Физматлит, 2001. – 320 с.

80. Самойлов, И. А. Развитие парка самолетов российских авиакомпаний. / И. А. Самойлов, О. Ю. Страдомский, В. С. Шапкин // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2012, № 2 (313). С. 7–15.

81. Самойлов, И. А. Состояние и перспективы развития парка воздушных судов гражданской авиации России. / И. А. Самойлов, И. В. Лесничий, В. И. Самойлов, Д. А. Кипчарский // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2014, № 4 (315). С. 9-16.

82. Семененко М. Г. Введение в математическое моделирование. М. : Солон-Р, 2002.-112 с.

83. Сидельников, Ю. В. Системный анализ технологии экспертного прогнозирования. / Ю. В. Сидельников. – М. : Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2007. – 347 с.

84. Современные системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций: монография / [В. Р. Болов и др.]; под общ. ред. В. А. Пучкова. – М. : ФКИ ЦСИ ГЗ МЧС России, 2013. – 352 с.

85. Тырсин, А. Н. Исследование динамики многомерных стохастических систем на основе энтропийного моделирования / А. Н. Тырсин, О. В. Варфоломеева // Информатика и ее применение. – 2013.– Т. 7. – № 4. – С. 3-10.

86. Тырсин, А. Н. Энтропийно-вероятностное моделирование гаусовских стохастических систем / А. Н. Тырсин, И. С. Соколова // Математическое моделирование. – 2012. – Т. 24. – № 1.– С. 88-102.

87. Тырсин, А. Н. Энтропийное моделирование многомерных стохастических систем : Монография. / А. Н. Тырсин. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2016. – 156 с.

88. Указ Президента РФ от 31.12.2015 № 683 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации»

89. Федеральный закон от 09.02.2007 № 16–ФЗ "О транспортной безопасности".

90. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»

91. Федеральный закон от 28.12.2010 № 390-ФЗ (ред. от 09.11.2020) «О безопасности»

92. «Федеральная система контроля качества (Национальная программа контроля качества авиационной безопасности)» (одобрено Межведомственной комиссией по авиационной безопасности, безопасности полетов гражданской авиации и упрощению формальностей 04.04.2019)

93. «Федеральная система обеспечения авиационной безопасности (Национальная программа авиационной безопасности)» (одобрено Межведомственной комиссией по авиационной безопасности, безопасности полетов гражданской авиации и упрощению формальностей 04.04.2019)

94. Человеческий фактор в системе мер безопасности гражданской авиации. Дос 9808 AN/765. Изд. 1. Монреаль: ИКАО, 2002. – 120 с.

95. Черток, В. Б. Авиационная безопасность в 2020 году: новые стандарты и требования. / В. Б. Черток // Журнал «Системы безопасности». – 2020, № 2 (152). С. 16–17.

96. Чуднов, А. М. Теоретико–игровые задачи синтеза алгоритмов формирования и приема сигналов. / А. М. Чуднов // Проблемы передачи информации. – 1991.– том 27, вып. 3. – С. 57–65.

97. Шагало́ва, П. А. Нейросетевые технологии в решении задач прогнозирования. / П. А. Шагало́ва, Д. А. Ляхманов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.; URL:<http://science-education.ru/ru/article/view?id=16494> (дата обращения: 07.02.2021).

98. Шапкин, В. С. К вопросу о применении рискоориентированного подхода в задаче обеспечения безопасности полётов / [В. С. Шапкин и др.] // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2017, № 16 (327). С. 61-69.

99. Шапкин, В. С. Современные подходы к оценке конкурентоспособности самолетов. / В. С. Шапкин, И. А. Самойлов, И. В. Лесничий // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2013, № 3 (314). С. 7-15.

100. Шапкин, В. С. ФГУП ГосНИИ ГА в Федеральной системе мониторинга результативности деятельности научных организаций. / В. С. Шапкин, А. И. Плешаков // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2015, № 11 (322). С. 67-78.

101. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем. Искусство и наука. / Р. Шеннон. – М. : Мир, 1978. – 417 с.

102. Юдаев, В. В. Исследование многоуровневого процесса контроля багажа с помощью аппарата сетей Петри / В. В. Юдаев, А. В. Богданов // Технологии построения когнитивных транспортных систем. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 28-29 мая 2019 г. СПб. : ИПТ РАН. – Санкт-Петербург, 2019. – С.169 – 182

103. Юдаев, В. В. Некоторые аспекты нормативно-правового регулирования в области авиационной безопасности / В. В. Юдаев, С. Г. Писарев, А. К. Волков // Симбирский научный вестник. – № 3 (17). – Ульяновск : УлГУ, 2014. – С. 56 – 60.

104. Юдаев, В. В. Обоснование нормативных требований безопасности к системе предполетного досмотра на основании процессного подхода к перевозке пассажиров на воздушном транспорте / В. В. Юдаев // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : сборник тезисов докладов участников Международной научно-технической конференции 18–20 мая 2016 г., посвященной 45-летию Университета – М. : МГТУ ГА, 2016. – С. 93.

105. Юдаев, В. В. Определение оптимальных значений коэффициентов возврата багажа на повторный досмотр в многоуровневой системе его обработки при проведении предполетного досмотра с учетом установленного уровня безопасности / В. В. Юдаев // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : сборник тезисов докладов участников Международной научно-технической конференции 16–17 мая 2018 г.,

посвященной 95-летию гражданской авиации России – М. : МГТУ ГА, 2018. – С. 126.

106. Юдаев, В. В. Применение сетей Петри для моделирования и верификации протоколов обеспечения транспортной безопасности / В. В. Юдаев, Б. В. Зубков // Информация и Космос. – СПб. : НТОО "Институт телекоммуникаций", 2016. – № 4. – С. 156–161.

107. Юдаев, В.В. Моделирование систем физической безопасности на основе аппарата сетей Петри / В.В. Юдаев, А.В. Богданов, О.А. Королев // Науч.-аналит. журн. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2019. № 4. С. 82–88.

108. Biggs, A. T. Assessing visual search performance differences between Transportation Security Administration Officers and nonprofessional searchers / A. T. Biggs, M. S. Cain, K. Clark, E. F. Darling, S. R. Mitroff // Visual Cognition, 2013, vol. 21 (3), pp. 330–352.

109. Biggs, A. T. Different predictors of multiple-target search accuracy between nonprofessional and professional visual searchers / A. T. Biggs, S. R. Mitroff // Quarterly Journal of Experimental Psychology, 2014, vol. 67, pp. 1335–1348.

110. Biggs, A. T. Improving the efficacy of security Screening tasks: a review of visual search challenges and ways to mitigate their adverse effects / A. T. Biggs, S. R. Mitroff // Visual cognition, 2013, vol. 21 (3), pp. 330-352.

111. Bolfig, A. Selection and pre-employment assessment in aviation security x-ray screening / A. Bolfig, A. Schwaninger // IEEE International Carnahan Conference on Security Technology Proceedings, 2009, vol. 43, pp. 5-12.

112. Bolfig, A. How image based factors and human factors contribute to threat detection performance in X-ray aviation security screening / A. Bolfig, T. Halbherr, A. Schwaninger // HCI and usability for education and work, 2008, pp. 419-438.

113. Daletsky S. VICTOROVICH, Kolutievsky Y. MIKHAILOVICH, Nikonov V. VASILIEVICH, Sirotin N. NIKOLAEVICH & Yudaev V. VLADIMIROVICH. Investigation of a multi-level baggage control process using Petri

nets. International Journal of Economic Perspectives. Volume 11, Issue 4, December 2017, Special Section, pp. 1192-1203.

114. Dejan Gradisar, Gasper Music. Petri-net modelling for batch production / IFAC Proceedings Volumes, Volume 46, Issue 9, 2013, Pages 1566-1571.

115. Gladkikh A. A, Volkov Al. K., Volkov An. K., Saeed B. A. S., Yudaev V. V. The concept for biometric system development based on modern error correcting coding. Journal of Physics: Conference Series (ICMSIT 2020), Volume 1515 (1), 2020, P. 032036 (1–5). Available online at <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1515/3/032036> doi:10.1088/1742-6596/1515/3/032036

116. Igor Kabashkin. Modelling of Regional Transit Multimodal Transport Accessibility with Petri Net Simulation / Procedia Computer Science, Volume 77, 2015, Pages 151-157.

117. Jean-Pierre Signoret. Dependability & safety modeling and calculation: Petri nets / IFAC Proceedings Volumes, Volume 42, Issue 5, June 2009, Pages 203-208.

118. M.H.C. Everdij, H.A.P. Blom, M.B. Klompstra. Dynamically Coloured Petri Nets for Air Traffic Management Safety Purposes / IFAC Proceedings Volumes, Volume 30, Issue 8, June 1997, Pages 169-174.

119. Mitroff, S. R. The ultra-rare-item effect: Visual search for exceedingly rare items is highly susceptible to error / S. R. Mitroff, A. T. Biggs, // Psychological Science, 2014, vol. 25, pp. 284–289.

120. Mohamed Bouali, Pavol Barger, Walter Schon. Backward reachability of Colored Petri Nets for systems diagnosis / Reliability Engineering & System Safety, Volume 99, March 2012, Pages 1-14.

121. Murata T. Petri Nets: Properties, Analysis and Applications. / Proceedings of IEEE. – 1989, vol. 77, no. 4, pp. 541-580.

122. Ondrej Nyvlt, Stein Haugen, Lukas Ferkl. Complex accident scenarios modelled and analysed by Stochastic Petri Nets / Reliability Engineering & System Safety, Volume 142, October 2015, Pages 539-555.

123. Perica Strbac, Gradimir V. Milovanovic. Upgraded Petri net model and analysis of adaptive and static arithmetic coding / Mathematical and Computer Modelling, Volume 58, Issues 7–8, October 2013, Pages 1548-1562.
124. Saaty T. L. On the Measurement of Intangibles. A Principal Eigenvector Approach to Relative Measurement Derived from Paired Comparisons // Notices of the American Mathematical Society, February 2013. 60(2), pp. 192-208. doi: 10.1090/noti944.
125. Saaty T. Mathematical Principles of Decision Making. κ Rws Publications. κ 2010.
126. Schwaninger, A. Evaluation and selection of airport security screeners / A. Schwaninger // AIRPORT, 2003, vol. 2, pp. 14-15.
127. Schwaninger, A. Increasing efficiency in airport security screening / A. Schwaninger // Safety and Security Engineering, 2005, vol. 82, pp. 405-416.
128. Stefan, M. Do «Image Enhancement» functions really enhance X-Ray image interpretation? / M. Stefan, M. Saskia, Steiner-Koller, M. Ruh, A. Schwaninger // Proceedings of the annual cognitive science society, 2007, vol. 29, pp. 1301-1306.
129. Stefan, M. Human-machine interaction in x-ray screening / M. Stefan, A. Schwaninger // Proceedings of the Carnahan Conference on Security Technology, 2007, vol. 41, pp. 13-19.
130. V. Volovoi. Modeling of system reliability Petri nets with aging tokens / Reliability Engineering & System Safety, Volume 84, Issue 2, May 2004, Pages 149-161.
131. Zelin Li, Shihai Wang, Tingdi Zhao, Bin Liu. A hazard analysis via an improved timed colored petri net with time–space coupling safety constraint / Chinese Journal of Aeronautics, Volume 29, Issue 4, August 2016, Pages 1027-1041.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Пример таблицы распределения пропусков, имитирующих запрещенные к перевозке предметы (вещества), «закладок» в проверяемой партии багажа по уровням досмотра ($N_B=500$; $a_{1-2}=0,1$; $a_{2-3}=0,1$; $n_3=50$)

№ п/п	Количество пропущенных "закладок"				
	по уровням				Всего
	1	2	3	4	
1	2	3	4	5	6
1	1		1		2
2					0
3					0
4		3			3
5	2				2
6	1	1		1	3
7	2				2
8		1			1
9	1		1		2
10	2	1			3
11	2				2
12	2		1		3
13	1	2			3
14			1		1
15		2			2
16	2		1		3
17	1	1			2
18					0
19	1	1			2
20	2				2
21					0
22	3	1			4
23					0
24	1				1
25					0
26	2	1			3
27	1	1			2

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
28					0
29	1	1	1		3
30	1		1		2
31	1	1			2
32		1		1	2
33	2		1		3
34				1	1
35	1				1
36	3				3
37		1			1
38	2	2			4
39		1			1
40		1			1
41					0
42		1			1
43	1	1			2
44	2				2
45	1				1
46	2				2
47					0
48		1			1
49			1		1
50					0
51	1	1			2
52					0
53					0
54	2				2
55		1			1
56					0
57	1		1		2
58					0
59	3		1		4
60		1			1
61	1				1
62		3			3
63	2		1		3
64			1		1
65					0
66	1				1

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
67	1				1
68	1				1
69		1			1
70	1				1
71	2	1			3
72		1			1
73					0
74	1	1			2
75	1				1
76					0
77					0
78	3				3
79	1				1
80	1				1
81		1		1	2
82	1		1		2
83	1				1
84					0
85	1		1		2
86	2				2
87					0
88					0
89	2	2			4
90		2			2
91					0
92		1			1
93	1	1			2
94		1			1
95	1				1
96					0
97	1		2		3
98		3			3
99		1	1		2
100	1	1	2		4
Итого	78	49	20	4	151

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Акт об использовании научных результатов диссертационной работы в АО «МАШ»


УТВЕРЖДАЮ
 Заместитель Генерального директора
 по безопасности АО «МАШ»
 К.Г. Попов
 «_____» _____ 2023 г.

АКТ

Об использовании научных результатов диссертационной работы
 на соискание ученой степени кандидата технических наук
 Юдаева Вячеслава Владимировича

Комиссия в составе:

Председатель комиссии:

Шенин Е.С. – Директор Дирекции авиационной и транспортной безопасности АО «МАШ»;

Савченко П.К. – начальник отдела организационно-методического АО «МАШ»;

Ильичева Л.Н. – начальник Службы транспортной безопасности АО «МАШ»;

Лебедев Д.М. – Первый заместитель Генерального директора по производству АО «Шереметьево Безопасность»

составила настоящий акт в том, что научные результаты, полученные В.В. Юдаевым в диссертационной работе «Обеспечение безопасности воздушных перевозок на основе метода квалитетрического управления процессом досмотра багажа в аэропорту», а именно:

– методика «Управление процессом досмотра багажа на основе количественной оценки качества его проведения в многоуровневой системе обработки багажа» внедрена в практику работы Дирекции авиационной и транспортной безопасности АО «МАШ» (Методика М - 5.1 - 02 – 18 введена в действие Распоряжением № 4 – 05 от 16 января 2019 г.).

Методика позволяет получить необходимые данные для расчета допустимых значений коэффициентов отказа в пропуске багажа для каждого уровня системы досмотра багажа, что соответствует рекомендациям ИКАО.

Коэффициенты отказов в пропуске багажа, зависящие от параметров и характеристик досмотрового оборудования конкретного аэропорта, необходимы для количественной оценки качества проведения досмотра. В представленной методике используется имитационная математическая модель многоуровневой системы досмотра багажа, разработанная с помощью аппарата сетей Петри и реализованная в программной среде CPN Tools.

Председатель комиссии:

Е.С. Шенин

Члены комиссии:

П.К. Савченко

Л.Н. Ильичева

Д.М. Лебедев

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

Акт об использовании научных результатов диссертационной работы в ФГБОУ ВО УИ ГА



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновациям

Ю.В. Сулимов

« 19 » июня 2023 г.

АКТ

об использовании результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата технических наук
Юдаева Вячеслава Владимировича

Комиссия в составе:

председатель:

А.В. Дормидонтов, заведующий кафедрой ОАБ, канд.
техн. наук, доцент

члены комиссии:

А. А. Гладких, профессор кафедры ОАБ, д-р техн. наук,
профессор

С.Г. Косачевский, помощник по учебно-методической
работе проректора по образовательной работе, канд.
техн. наук, доцент

составила настоящий акт о том, что научные результаты, полученные Юдаевым В.В. в диссертационной работе на тему «Обеспечение безопасности воздушных перевозок на основе метода квалитетического управления процессом досмотра багажа в аэропорту», внедрены в образовательный процесс кафедры обеспечения авиационной безопасности Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева».

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе подготовки курсантов по направлению 25.03.03 Аэронавигация профиля подготовки 25.03.03_03 Обеспечение авиационной безопасности. В частности, модели процесса предполетного досмотра и процесса контроля багажа в многоуровневой системе его обработки, созданные с помощью аппарата сетей Петри и реализованные в программной среде Colored Petri Nets Tools используются при проведении практических и лабораторных занятий по дисциплинам: «Авиационная безопасность», «Транспортная безопасность», «Организация и проведение досмотра на воздушном транспорте».

Внедрение полученных результатов позволит повысить эффективность учебного процесса по дисциплинам кафедры обеспечения авиационной безопасности.

Результаты использования материалов диссертационной работы Юдаева В.В. рассмотрены на заседании кафедры ОАБ от 20.04.2023 № 10.

Председатель комиссии:

А.В. Дормидонтов

Члены комиссии:

А.А. Гладких

С.Г. Косачевский