

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

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ульяновск 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева».

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Радиотехника,  
телекоммуникации и защита информации» ФГБОУ  
ВО «Ульяновский государственный технический  
университет»  
**Гладких Анатолий Афанасьевич.**

**Официальные оппоненты:** кандидат технических наук, генеральный директор  
закрытого научно-производственного акционерного  
общества «Отделение проблем военной экономики  
и финансов»  
**Волков Михаил Владимирович**

доктор экономических наук, заместитель  
генерального директора по стратегическому  
развитию Федерального государственного  
бюджетного учреждения «Национальный  
исследовательский центр «Институт им. Н.Е.  
Жуковского»  
**Клочков Владислав Валерьевич**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный  
университет гражданской авиации имени Главного  
маршала авиации А.А. Новикова»

Защита состоится «25» июня 2026 г. на заседании диссертационного совета 40.1.001.01 созданного на базе федерального государственного унитарного предприятия Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации (ФГУП ГосНИИ ГА) по адресу: ул. Михалковская, д. 67, стр. 1., г. Москва, 125438.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП ГосНИИ ГА или на сайте <http://gosniiga.ru>.

Тел\факс: (495) 450-63-96; e-mail: [dis.sovet@gosniiga.ru](mailto:dis.sovet@gosniiga.ru)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

Отзывы на автореферат направлять в двух экземплярах, заверенные печатью организации, на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 40.1.001.01  
кандидат технических наук

П.Е. Черников

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования.**

Гарантирование национальной безопасности является важнейшей задачей государства, обеспечивающей суверенитет, территориальную целостность, устойчивое развитие и само существование государства. Национальная безопасность государства значительно зависит от безопасности в транспортной сфере страны, в том числе и от безопасности перевозок воздушным транспортом. Обеспечение безопасности перевозок воздушным транспортом, как динамично развивающегося элемента транспортного комплекса страны, представляет собой сложную комплексную проблему, включающую в себя взаимосвязанные нормативно-правовые, организационные, экономические, научно-методические и научно-технические составляющие, требующую быстрого решения.

Террористические угрозы современности носят характер тщательной подготовки, планирования, передового технического оснащения и вливания финансовых ресурсов в осуществление террористических актов на воздушном транспорте, что требует непрерывного совершенствования методов и средств защиты воздушных перевозок. Особую актуальность при обеспечении защиты гражданской авиации (ГА) от актов незаконного вмешательства (АНВ) приобретает концепция управления силами и средствами обеспечения безопасности объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ) и транспортных средств (ТС) на основе количественной оценки обоснованности принимаемых управленческих решений и новых подходов к созданию надежных интегрированных систем безопасности авиапредприятий ГА.

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 объемов пассажирских воздушных перевозок, проводимые превентивные мероприятия по обеспечению транспортной безопасности (ТБ) воздушного транспорта (ВТ) не в полной мере своевременно и эффективно обеспечивают безопасность воздушных перевозок, 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 транспортной 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.**

Значительный вклад в изучение проблем, связанных с вопросами обеспечения безопасности воздушных перевозок, внесли: С.В. Гиаченов, В.С. Шапкин, Е.А. Куклев, А. Shwaninger, М. Stefan, А.Т. Biggs. Важная роль в решении проблем, связанных с вопросами оценивания ТБ на основе методологии определения рисков принадлежит Г.Н. Гипичу, В.Г. Евдокимову, Б.В. Зубкову, С.Е. Прозорову, L. Swann, A. Volfig, S.R. Mitroff. Квалиметрическим методам оценки безопасности на транспорте посвящены труды Ю.Б. Михайлова, Ю.М. Волынского-Басманова. Существенные шаги в обобщении достигнутых результатов обеспечения ТБ и создания теории ТБ сделаны Л.Н. Елисовым, Н.И. Овченковым и Р.С. Фадеевым. Однако, отсутствуют научно-обоснованные методы количественной оценки качества проведения досмотра в системе управления ТБ

аэропорта в реальном времени; нет нормативных требований безопасности, адаптированных к системе досмотра в ходе реализации взаимосвязанных технологических процессов; отсутствуют научно-обоснованные критерии и методики оценки рисков процедуры управления досмотром в аэропорту.

**Объектом исследования** являются процессы обеспечения безопасности воздушных перевозок.

**Предметом исследования** являются модели, методы и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при организации и проведении досмотра багажа в аэропорту.

**Методами исследования** являются 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 повышение уровня ТБ воздушных пассажирских перевозок на основе развития метода квалиметрического управления процессом досмотра багажа в системе управления ТБ аэропорта с использованием количественных оценок качества контроля багажа, полученных с помощью разработанных моделей системы досмотра и пятиуровневой системы контроля багажа с использованием аппарата сетей Петри. Для достижения цели работы решается **комплекс взаимосвязанных задач**:

- анализ современного состояния и проблем в области обеспечения транспортной безопасности аэропорта при перевозке пассажиров на воздушном транспорте;
- обоснование нормативных требований безопасности к системе досмотра на основе процессного подхода к перевозке пассажиров на воздушном транспорте;
- выработка критериев и методики оценки риска процесса досмотра в системе управления транспортной безопасностью аэропорта;
- разработка математических моделей системы досмотра и многоуровневой системы досмотра багажа в аэропорту с помощью аппарата сетей Петри для верификации протоколов обеспечения 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 мер на качество контроля багажа;
- разработка методики квалиметрического управления процессом досмотра багажа в многоуровневой системе его обработки.

**Научная новизна исследования** состоит в развитии методов управления процессом досмотра багажа и повышения эффективности принимаемых решений в задачах обеспечения безопасности воздушных перевозок на основе количественных оценок качества контроля багажа, полученных с помощью разработанных моделей системы досмотра и пятиуровневой системы контроля багажа с использованием аппарата сетей Петри. В настоящей работе впервые:

- разработаны модели досмотра и пятиуровневой системы досмотра багажа на основе сетей Петри, *отличающиеся* возможностью верификации протокола обеспечения транспортной безопасности процесса досмотра в аэропорту;
- обоснованы критерии ранжирования тяжести происшествий, связанных с недостатками проведения 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 квалитетического 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 досмотра и многоуровневой системы контроля багажа позволяют осуществлять проверку, определяемого требованиями руководящих документов порядка функционирования пункта досмотра, оценивать его пропускную способность и временные параметры, осуществлять квалитетическое 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 нормативных требований безопасности к системе досмотра на основании процессного подхода к обеспечению безопасности пассажирских воздушных перевозок;

– методика оценки рисков процесса досмотра в системе управления транспортной безопасностью аэропорта;

– имитационная модель многоуровневой системы досмотра багажа в аэропорту и результаты ее исследования;

– методика квалитетического 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 страниц), в том числе: 4 научные статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Минобрнауки РФ (24 страницы); 2 научные статьи опубликованы в журналах, входящих в Scopus (17 страниц); 7 тезисов и текстов докладов на международных научных, научно-технических и научно-практических конференциях (33 страницы); 2 публикации в прочих изданиях (12 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, перевозимого в грузовом отсеке ВС использованы в организациях:

– АО «Международный аэропорт Шереметьево» – внедрена в практику работы службы транспортной 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 внедрении в учебный процесс по направлению подготовки курсантов (студентов) 25.03.03 – Аэронавигация, профиля 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 транспортной 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 3 приложения. Список литературы содержит 131 наименование.

### **СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы диссертации, формулируется цель, определяются задачи исследования, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена анализу современного состояния и проблем обеспечения безопасности в аэропортах.

Развитие транспортных технологий приводит к усложнению транспортных систем и транспортных инфраструктур, а также к расширению спектра потенциальных угроз безопасности на транспорте.

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

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.

На современном этапе важнейшей проблемой ТБ является обеспечение превентивных мер по защите гражданской авиации от попыток совершения актов незаконного вмешательства в ее деятельность.

При этом проводимый комплекс мероприятий, направленных на решение данной проблемы, реализуется по разным направлениям: от разработки нормативно-правовых актов и до внедрения новых физических принципов в технологии и процедуры обеспечения транспортной безопасности.

Однако, как показывает статистика (таблица 1), рост АНВ в адрес ГА не прекращается, а многие нерешенные вопросы в системе обеспечения транспортной безопасности приводят к снижению ее уровня.

К таким нерешенным вопросам относятся (рисунок 1):

– проблемы организационной структуры подразделений ТБ (неукомплектованность штата; появление новых авиаперевозчиков, которые переманивают хороших специалистов; недостаточный уровень автоматизации процесса обработки и искажение отчетных данных о нарушениях требований ТБ);

– недостатки управления ТБ (неактуальная нормативно-правовая база; несвоевременное реагирование на нарушения требований ТБ; недостатки мотивации труда; ориентация на поиск и наказание виновных; недостаточный уровень автоматизации при принятии управленческих решений; низкий уровень прогнозирования и предупреждения нарушений требований ТБ; отсутствие научно обоснованных методик количественной оценки качества выполнения задач по обеспечению ТБ для своевременного принятия управленческих решений по повышению их эффективности);

– недостаточная надежность технических средств обеспечения ТБ (недостаточное качество оборудования; некачественное техническое обслуживание и ремонт; несовершенство технического и технологического обеспечения);

– влияние человеческого фактора (недостатки отбора и мотивации; недостаточный уровень профессиональной подготовки персонала; несоблюдение технологической дисциплины при выполнении мероприятий по обеспечению транспортной безопасности на ОТИ и ТС; отсутствие навыков квалитетического управления технологическими процессами).

Таблица 1 – Статические данные по АНВ в РФ

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.,	-	-	-	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	-	-
<b>Общее количество АНВ</b>	<b>71</b>	<b>131</b>	<b>129</b>	<b>171</b>	<b>175</b>	<b>191</b>	<b>275</b>	<b>158</b>	<b>202</b>	<b>432</b>	<b>153</b>



Рисунок 1 – Причинно-следственная диаграмма Исикавы снижения уровня ТБ

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 интеграции управленческих систем.

В работе основное внимание уделено решению управленческих проблем функционирования системы досмотра в аэропорту, как одного из важнейших элементов обеспечения безопасности воздушных перевозок.

Таким образом, формализованную постановку задачи исследования целесообразно представить целевой функцией управления процессом досмотра багажа в интересах обеспечения ТБ в виде:  $V = F\{X, Y, K, D\}$ , 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  $D$ , где  $P_{обн}$  – вероятность обнаружения запрещенных к перевозке предметов (веществ).

**Вторая глава** посвящена моделированию процесса функционирования организационно-технической структуры системы досмотра в аэропорту в целях управления системой ТБ. При этом:

- рассмотрены вопросы, связанные с управлением силами и средствами транспортной безопасности аэропорта;
- проведен анализ организации процесса досмотра в аэропорту;
- рассмотрены общие принципы моделирования процесса функционирования подразделения ТБ авиапредприятия;

– обоснована возможность применения аппарата сетей Петри для моделирования процессов функционирования подразделения ТБ при введении различных уровней безопасности на ОТИ и/или ТС аэропорта;

– на основе аппарата комбинированных сетей Петри разработана математическая модель процесса проведения досмотра в аэропорту (рисунок 2), позволяющая проводить верификацию протоколов обеспечения транспортной безопасности.

Аналитическое представление маркированной сети Петри, моделирующей процесс досмотра, имеет следующий вид:  $C = (P, T, I, O, M_0)$ , где  $P$  – непустое конечное множество позиций;  $T$  – непустое конечное множество переходов (множества  $P$  и  $T$  не пересекаются  $P \cap T = \emptyset$ );  $I: P \times T \rightarrow N_0$  – входная функция переходов;  $O: T \times P \rightarrow N_0$  – выходная функция переходов;  $M_0$  – начальная маркировка сети;  $N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$  – множество натуральных чисел и ноль.

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_{28}\}; T = \{t_1, t_2, \dots, t_{23}\};$$

$$I(t_1) = \{p_1, p_2\}; I(t_2) = \{p_4\}; I(t_3) = \{p_2, p_9\}; I(t_4) = \{p_3\}; I(t_5) = \{p_2, p_{13}\}; I(t_6) = \{p_5\};$$

$$I(t_7) = \{p_7\}; I(t_8) = \{p_8\}; I(t_9) = \{p_2, p_{18}\}; I(t_{10}) = \{p_6\}; I(t_{11}) = \{p_{11}\}; I(t_{12}) = \{p_{12}\};$$

$$I(t_{13}) = \{p_2, p_{24}\}; I(t_{14}) = \{p_{20}\}; I(t_{15}) = \{p_{15}\}; I(t_{16}) = \{p_{16}\}; I(t_{17}) = \{p_{17}\};$$

$$I(t_{18}) = \{p_9, p_{13}, p_{18}, p_{24}\}; I(t_{19}) = \{p_{21}\}; I(t_{20}) = \{p_{22}\}; I(t_{21}) = \{p_{23}\}; I(t_{22}) = \{p_{26}\};$$

$$I(t_{23}) = \{p_{27}\};$$

$$O(t_1) = \{p_3\}; O(t_2) = \{p_2\}; O(t_4) = \{p_5, p_6, p_7, p_8, p_9\}; O(t_6) = \{p_2, p_{10}\}; O(t_7) = \{p_{11}, p_{18}\};$$

$$O(t_8) = \{p_{12}, p_{24}\}; O(t_{10}) = \{p_{15}\}; O(t_{11}) = \{p_{16}\}; O(t_{12}) = \{p_{17}\}; O(t_{14}) = \{p_2, p_{14}\};$$

$$O(t_{15}) = \{p_{20}, p_{21}\}; O(t_{16}) = \{p_{22}, p_{23}\}; O(t_{17}) = \{p_{26}, p_{27}\}; O(t_{18}) = \{p_2, p_{19}\};$$

$$O(t_{19}) = \{p_{13}\}; O(t_{20}) = \{p_2, p_{25}\}; O(t_{21}) = \{p_{18}\}; O(t_{22}) = \{p_{24}\}; O(t_{23}) = \{p_2, p_{28}\};$$

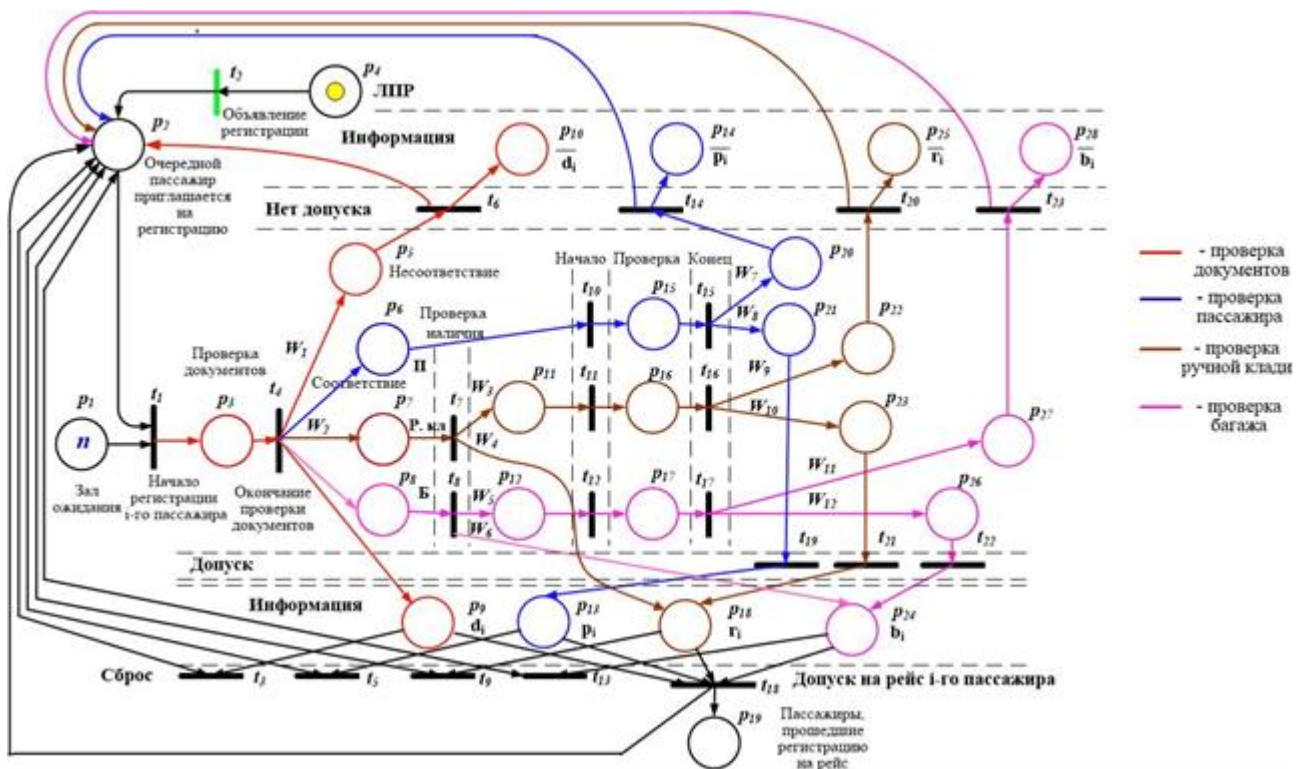


Рисунок 2 – Сеть Петри, моделирующая процесс досмотра в аэропорту

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. Если хотя бы по одному из проверяемых атрибутов он не соответствует требованиям, пассажир не допускается на рейс. 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.

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

– первая сеть Петри (рисунок 3) формирует исходные данные для моделирования;

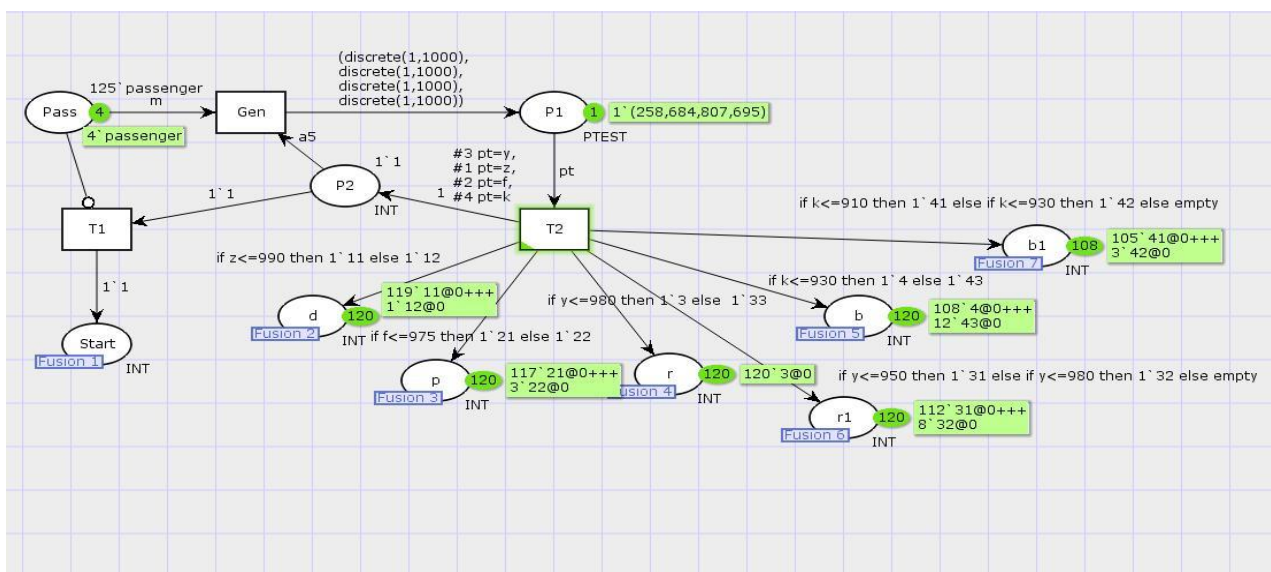


Рисунок 3 – Сеть Петри, формирующая исходные данные для моделирования

– вторая сеть Петри (рисунок 4) – непосредственно имитационная модель процесса досмотра.

Для разработки оптимальной структуры системы досмотра багажа применяется классическая задача синтеза:

Пусть  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  – множество технических систем и средств досмотра, а также операторы, участвующие в проведении досмотра багажа в аэропорту;  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$  – 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 показателя эффективности (ОПЭ) процесса досмотра багажа (вероятность обнаружения) 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  $x \in X$   $Q\{x, y_0\} \rightarrow \max$ .

Ее решением будет множество  $x_\varepsilon(x, y_0) \in \varepsilon$  – оптимальных систем  $x_\varepsilon(\varepsilon \geq 0)$ , определяемое выражением:

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

В соответствии с рекомендациями ИКАО, общая модель пятиуровневой системы досмотра багажа имеет следующий вид (рисунок 5).

Имитационная модель пятиуровневой системы досмотра багажа, перевозимого в грузовом отсеке, ВС, реализованная в моделирующей среде CPN Tools, представлена на рисунке 6.

Предложенные модели досмотра в аэропорту и 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.

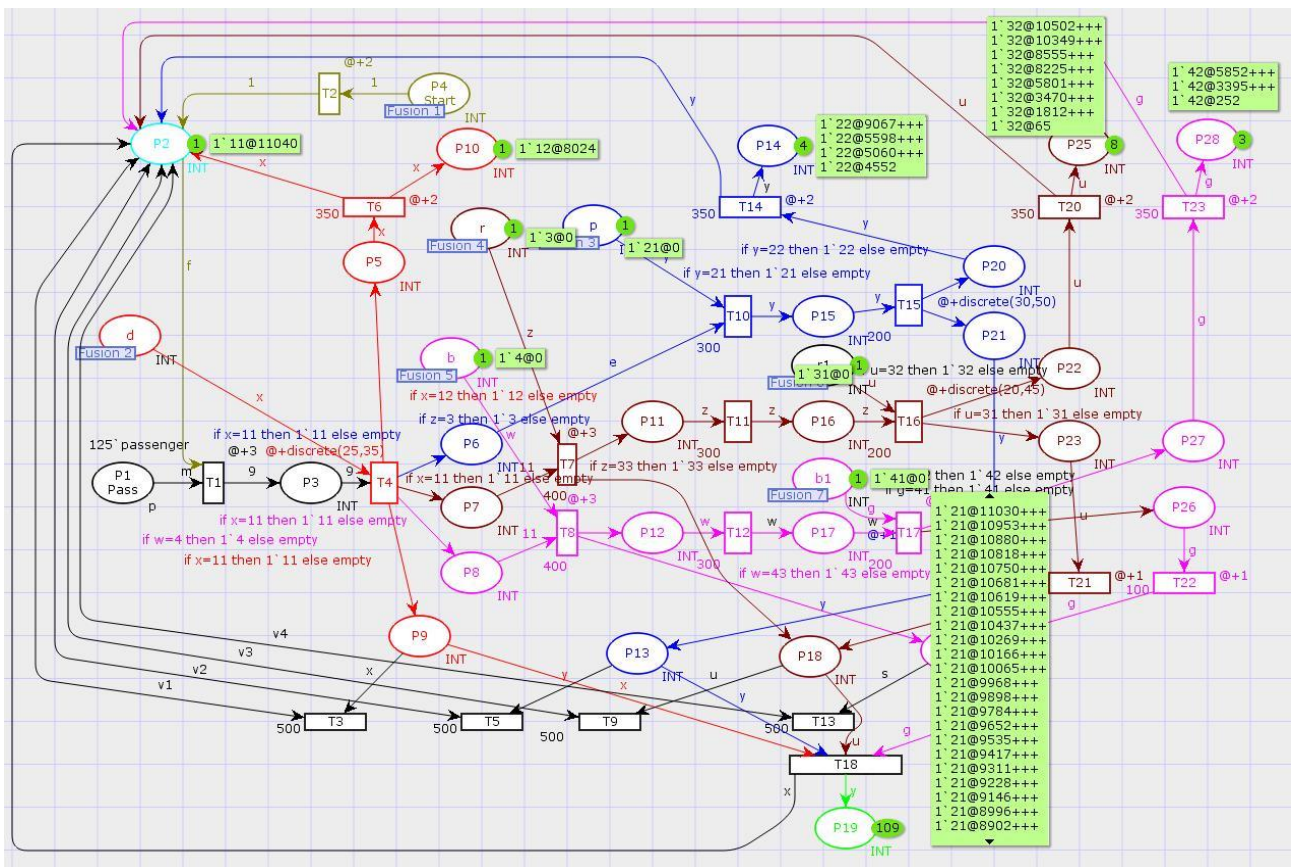


Рисунок 4 – Имитационная модель процесса досмотра в моделирующей среде CPN Tools

Задавая время выполнения различных операций при досмотре, используя атрибут «время задержки» перехода, предложенные модели досмотра в аэропорту и пятиуровневой системы досмотра багажа дают возможность анализировать временные характеристики процесса досмотра.

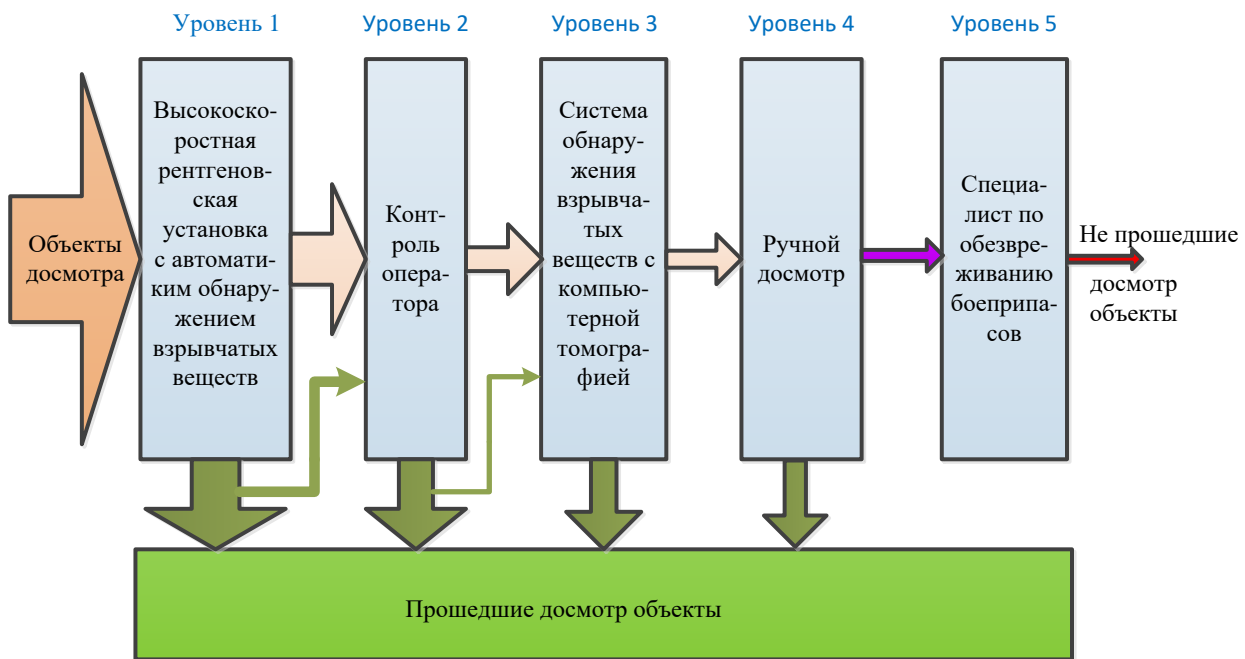


Рисунок 5 – Общая модель пятиуровневой системы досмотра багажа

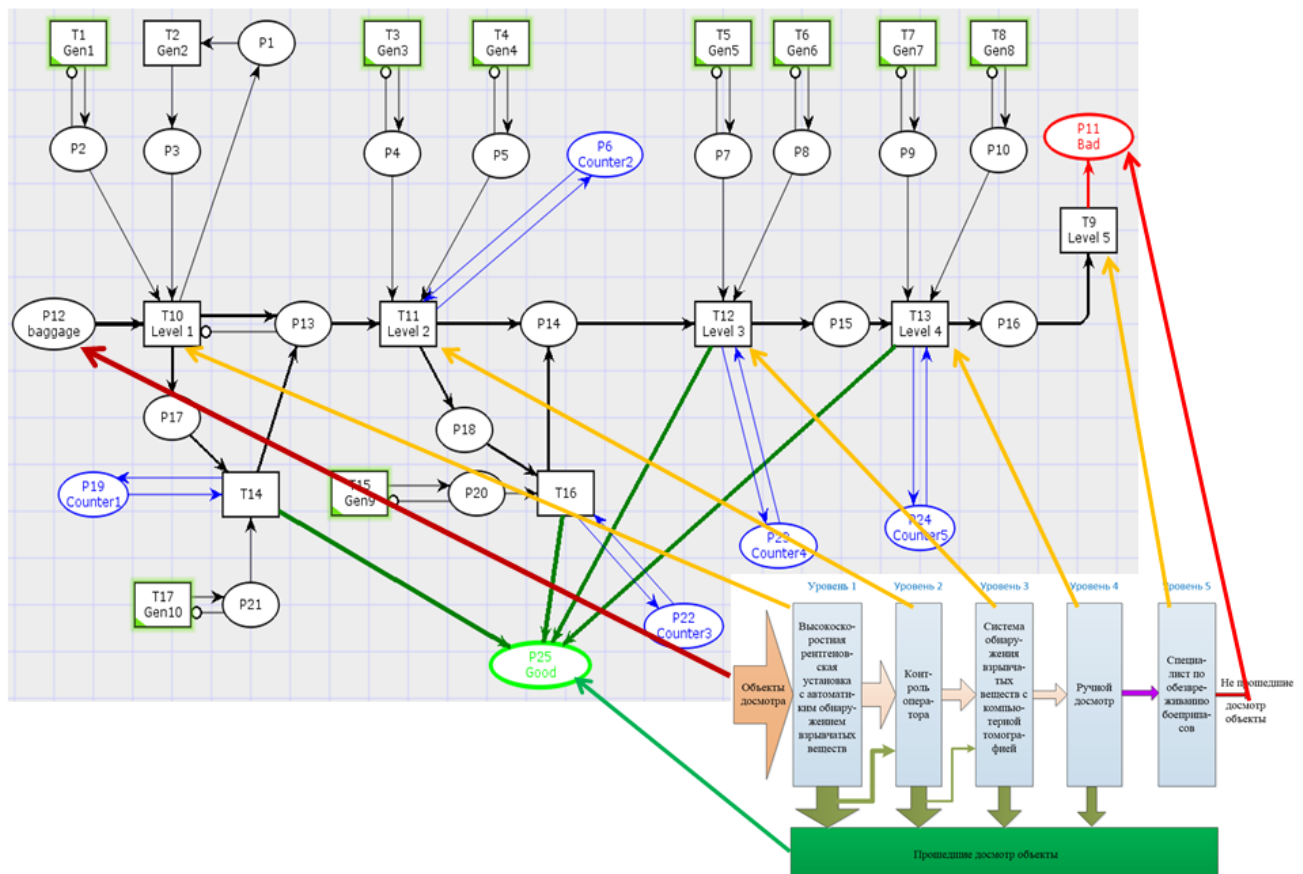


Рисунок 6 – Имитационная модель пятиуровневой системы досмотра багажа

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 мерах, связанных с изменениями уровня безопасности в аэропорту, которая имеет следующий вид:

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

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» ( $j = 1, 2, \dots, s$ ), где  $s$  – число вариантов «закладок».

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

Качество досмотра – совокупность характеристик процесса досмотра, характеризующих его способность удовлетворять предъявляемым к нему требованиям по обеспечению транспортной безопасности.

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:*

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

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»  $n_3^\Sigma$ , используемых при проведении эксперимента (с учетом количества испытаний  $m$ ):

$$K_{np} = \frac{n_3^{np\Sigma}}{n_3^\Sigma} \cdot 100\%, \quad n_3^{np\Sigma} = \sum_{l=1}^m n_3^{np_l};$$

где  $n_3^{np_l}$  – количество пропущенных закладок при  $l$ -ом испытании ( $l = 1, 2, \dots, m$ );  $n_3^\Sigma = n_3^j \cdot m$ ;  $n_3^j$  – количество «закладок» в  $j$ -ом варианте «закладок».

Исследование проводилось при следующих параметрах и характеристиках досмотрового оборудования:

$$P_{обн}^1 = 0,98; P_{ЛТ}^1 = 0,3; P_{обн}^2 = 0,99; P_{ЛТ}^2 = 0,15; P_{обн}^3 = 0,995; P_{ЛТ}^3 = 0,1; P_{обн}^4 = 0,999;$$

вероятности ложной тревоги для ручного досмотра (уровень 4)  $P_{ЛТ}^4 = 0$ . Количество проверяемого за 1 день багажа принималось равным  $N_B = 6000$  единиц; число испытаний для каждого значения количества «закладок»  $m = 30$ ; число вариантов «закладок»  $s = 4$ .

Исходные данные и результаты моделирования представлены в таблице 2 и на рисунках 7, 8.

Таблица 2 – Результаты моделирования

Вариант повторной проверки части багажа на 2- ом и 3- м уровнях досмотра	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 7 – Зависимость коэффициента пропуска «закладок» от количества «закладок» в проверяемой партии багажа

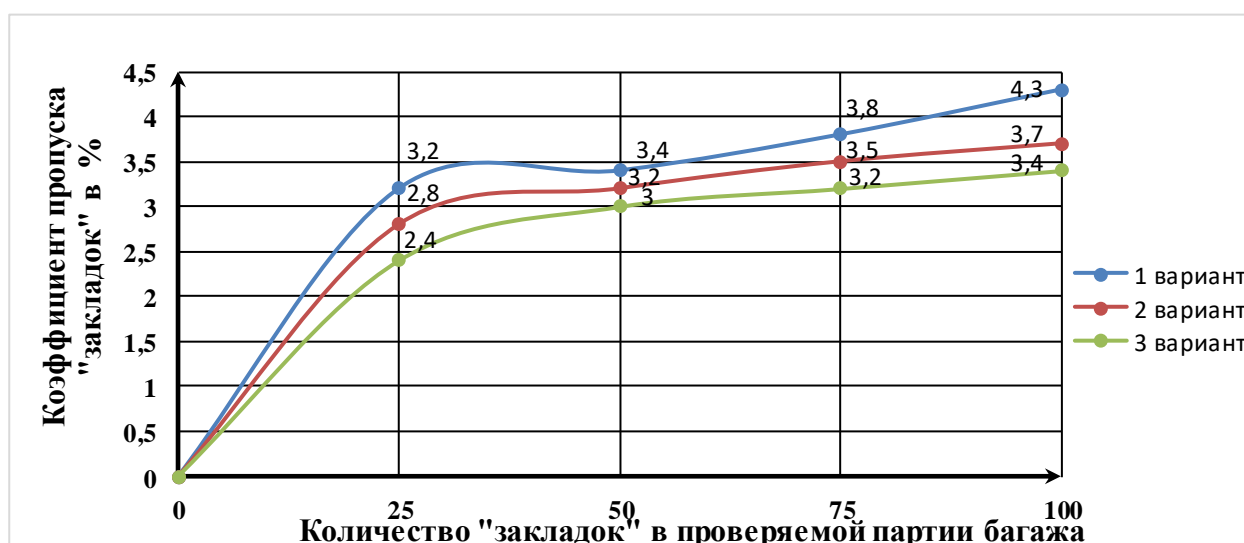


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента пропуска «закладок» от количества «закладок» в проверяемой партии багажа при различных вариантах проверки

Из табл. 2 и рис. 8 видно, что при существующем досмотровом оборудовании для снижения коэффициента пропуска запрещенных к перевозке предметов (веществ) эффективными являются организационные меры, связанные с повторным досмотром части багажа, прошедшего удовлетворительную проверку особенно на первых двух уровнях многоуровневой системы досмотра. Однако, это приводит к увеличению времени проведения досмотра.

2. Зависимость количества групп пропущенных «закладок»  $K_{np}^{зр}$  от количества

«закладок» в данном эксперименте:

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

Исследование проводилось при аналогичных значениях параметров и характеристик досмотрового оборудования. Количество проверяемого багажа принималось равным  $N_B=350$  единиц; 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 3 и показаны на диаграмме (рисунок 9).

Таблица 3 – Результаты второго моделирования

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

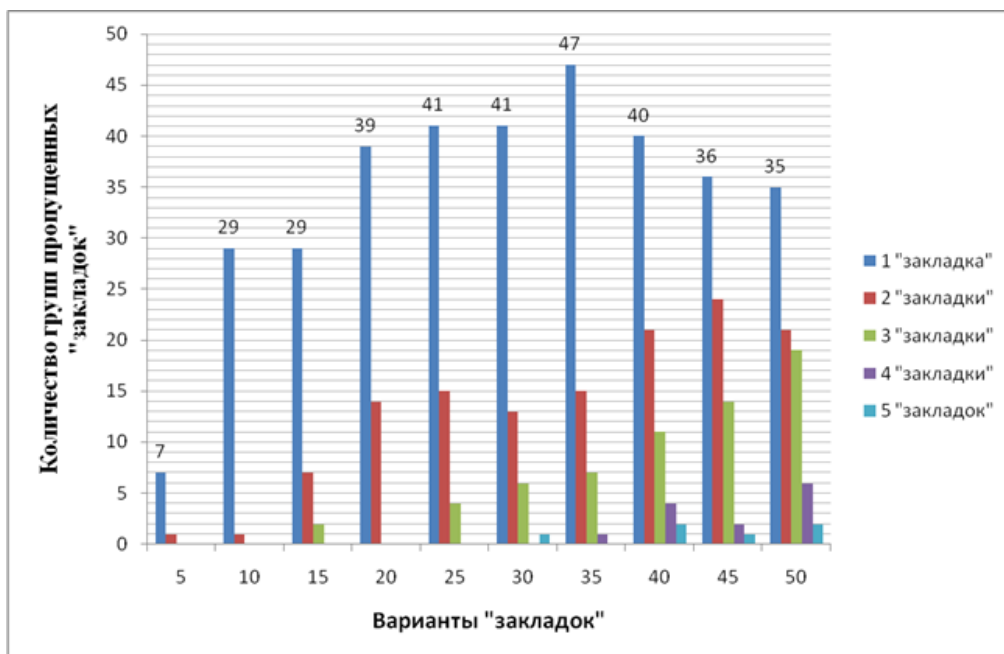


Рисунок 9 – Диаграмма группирования пропусков «закладок»

Из рисунка 9 видно, что с увеличением количества «закладок» в эксперименте появляются пропуски групп «закладок».

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 (рисунок 10). При этом неизменны характеристики досмотрового оборудования, количество «закладок» и коэффициент возврата на дополнительный досмотр на третий уровень части багажа.

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

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 (рисунок 11). При этом неизменны характеристики досмотрового оборудования, количество «закладок» и коэффициент возврата на дополнительный досмотр на 2 уровень части багажа.

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

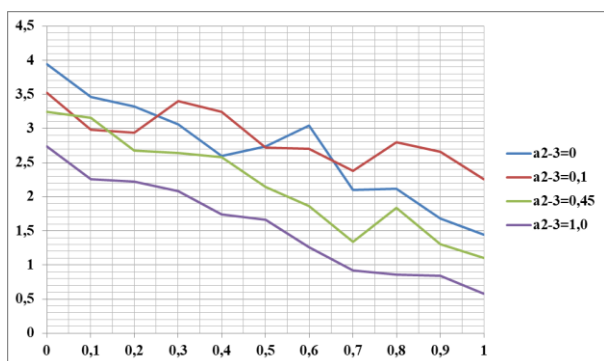


Рисунок 10 – Зависимость коэффициента пропуска «закладок» от коэффициента возврата части багажа на дополнительный досмотр на второй уровень

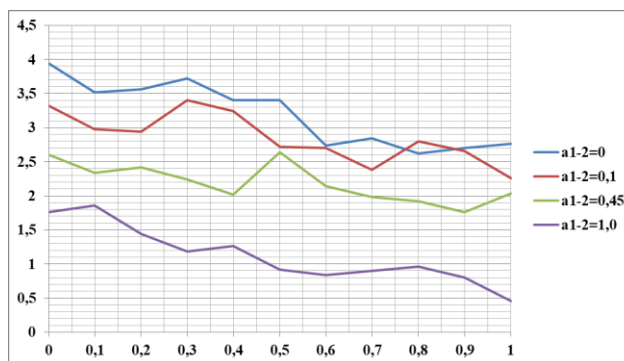


Рисунок 11 – Зависимость коэффициента пропуска «закладок» от коэффициента возврата части багажа на дополнительный досмотр на третий уровень

Графики на рисунках 10, 11 позволяют определить оптимальные значения коэффициентов возврата части проверенного багажа на дополнительный досмотр на следующие уровни.

В третьей главе обоснованы нормативные требования безопасности к системе досмотра в аэропорту, описана методика оценки уровня ТБ воздушных перевозок в системе управления ТБ аэропорта.

Понимание происходящих при перевозке пассажиров на ВТ взаимосвязанных процессов как системы и управление ими как системой повышают результативность и эффективность организации в достижении намеченных результатов.

Модель процесса авиаперевозок пассажиров на воздушном транспорте (рисунок 12) представляет собой совокупность двух последовательных процессов: досмотра и перелета с одного аэропорта в другой. При этом, обеспечение безопасности пассажирских перевозок обеспечивается по двум направлениям: транспортная безопасность и безопасность полетов.

Для обоснования нормативных требований безопасности к системе досмотра (таблицы 4, 5) использованы нормы летной годности самолетов транспортной категории.

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

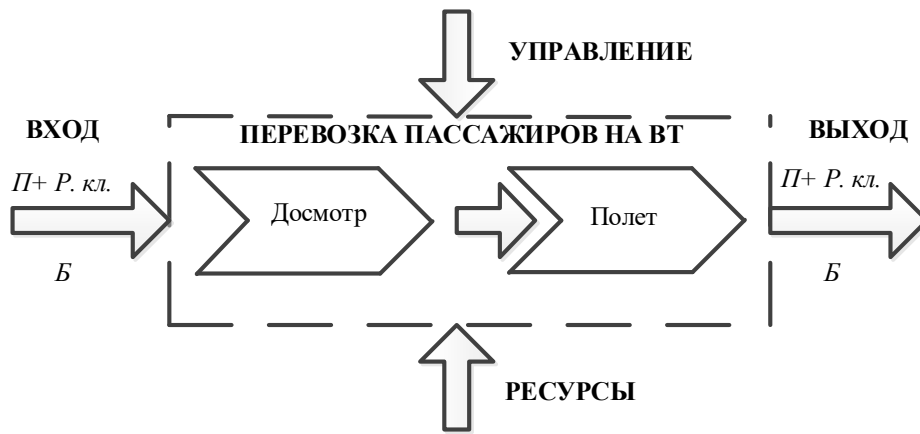


Рисунок 12 – Модель процесса перевозки пассажиров на VT

Таблица 4 – Нормативные значения вероятностей появления особых ситуаций

Особые ситуации	БП		Тяжесть последствий	Вероятности $Q_{AB}$
	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	$10^{-5} \div 10^{-3}$

Таблица 5 – Ранжирование отказов по тяжести последствий АНВ

Тяжесть последствия АНВ	Характер последствия АНВ
Катастрофическая	Последствие со смертельным исходом
Критическая	Последствие с инвалидным исходом
Значительная	Последствие с временной потерей трудоспособности или большим материальным ущербом
Незначительная	Последствие с малым материальным ущербом

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 13).

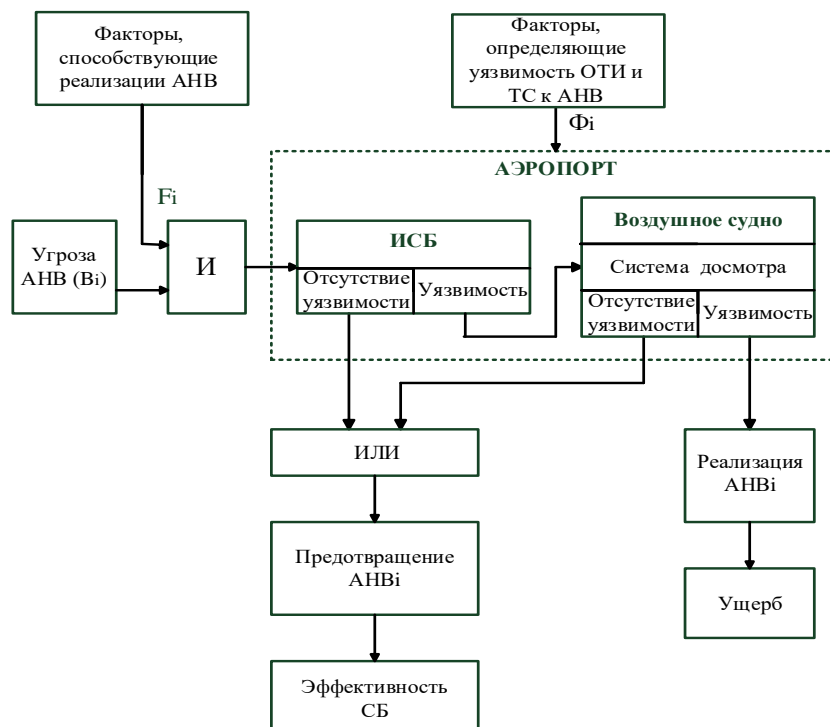


Рисунок 13 – Схема возможной реализации АНВ на воздушном судне

При разработке методики оценки уровня ТБ воздушных перевозок предполагается, что:

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

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

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  $\Delta T = [t_1, t_2]$ ;

$$P(b_{ij}) = \alpha_{ij} \frac{1}{nm}, \text{ где } \alpha_{ij} \text{ – коэффициент (элемент вектора приоритетов),}$$

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  $\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} = 1$ .

Коэффициенты  $\alpha_{ij}$  определяются экспертным путем (метод анализа иерархий).

$P(y_{ij})$  – 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;

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

где  $\beta_{ij}$  – коэффициент (элемент вектора приоритетов), учитывающий чувствительность системы безопасности  $i$ -го ТС к источнику потенциального вреда, вызывающего  $j$ -й АНВ. Коэффициент  $\beta_{ij}$  оценивается специалистами-экспертами (метод анализа иерархий).

$$\sum_{j=1}^m \beta_{ij} = 1.$$

$P_{ij}^{AHB} = P(b_{ij})P(y_{ij})$  – вероятность реализации  $j$ -го АНВ на  $i$ -м ТС на некотором временном интервале  $\Delta T = [t_1, t_2]$ .

$$\text{Таким образом, риск: } R_{ijl} = P(b_{ij})P(y_{ij})u_{ijl} = P_{ij}^{AHB} u_{ijl}.$$

Тогда обобщенный риск для ТС аэропорта:

$$\begin{aligned} R &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k P(b_{ij})P(y_{ij})u_{ijl} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k \alpha_{ij} \frac{1}{nm} \beta_{ij} \frac{1}{nm} u_{ijl} = \\ &= \frac{1}{(nm)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^k (\alpha_{ij} \beta_{ij} u_{ijl}) = \frac{1}{(nm)^2} (\alpha_{11} \beta_{11} u_{111} + \alpha_{11} \beta_{11} u_{112} + \dots + \alpha_{11} \beta_{11} u_{11k} + \alpha_{12} \beta_{12} u_{121} + \\ &+ \alpha_{12} \beta_{12} u_{122} + \dots + \alpha_{12} \beta_{12} u_{12k} + \dots + \alpha_{nm} \beta_{nm} u_{nmk}). \end{aligned}$$

Уровень транспортной безопасности воздушной перевозки определяется:

$$E_{без} = R_{доп} - R_{прог},$$

где  $R_{доп}$  – значение допустимого риска получения ТС (ВС) ущерба;  $R_{прог}$  – значение прогнозируемого риска получения ТС (ВС) ущерба (рисунок 14).

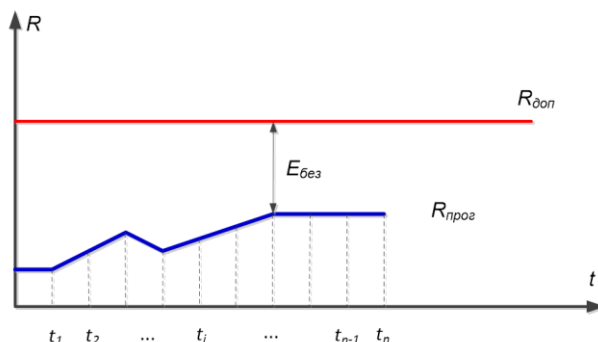
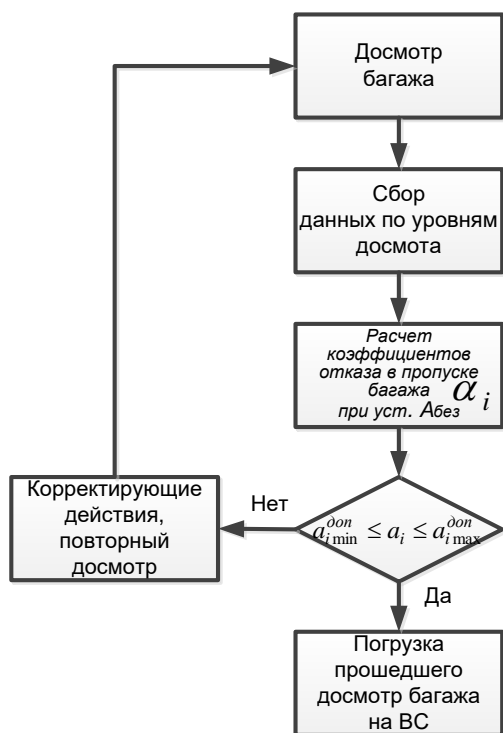


Рисунок 14 – Уровень транспортной безопасности воздушной перевозки

В соответствии с рекомендациями ИКАО на основе, разработанной модели пятиуровневой системы досмотра багажа, с учетом конкретных характеристик используемого досмотрового оборудования предложена авторская технология оценки достаточности мер при проведении контроля багажа в процессе досмотра в аэропорту. Она заключается в определении с помощью, реализованной в программной среде CPN Tools модели, допустимых значений коэффициентов отказа в пропуске багажа ( $a_{i\min}^{доп}, a_{i\max}^{доп}$ ) 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.

Схема управления процессом досмотра представлена на рисунках 15.



$\alpha_i = \frac{n_i^{отк}}{n_i}$  – коэффициент отказа в пропуске багажа на  $i$  – м уровне досмотра;  
 $n_i$  – количество багажа, досмотренное на  $i$  – м уровне;  
 $n_i^{отк}$  – количество багажа, получившего отказ в пропуске на  $i$  – м уровне;  
 $a_{i\min}^{доп}, (a_{i\max}^{доп})$  – 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.

Рисунок 15 – Схема управления процессом досмотра

Результаты моделирования (рисунок 16 и таблица 6) представлены для случая  $n = 250$  багажей и 1 закладки (всегда обнаруживалась).

Для подтверждения валидности разработанной методики, 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 в Международном аэропорту «Шереметьево». При этом относительная погрешность не превышает 2%.

Таблица 6 – Результаты моделирования

<b>n</b>	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	
<b>n<sub>сч1</sub></b>	185	178	168	191	175	184	192	181	190	190	173	184	
<b>n<sub>сч2</sub></b>	108	114	108	90	100	106	93	102	100	104	120	100	
<b>n<sub>сч3</sub></b>	91	100	92	74	78	89	74	83	88	90	98	84	
<b>n<sub>сч4</sub></b>	20	15	18	21	28	22	20	25	14	21	24	19	
<b>n<sub>сч5</sub></b>	2	2	3	3	4	2	3	2	3	2	2	2	
<b>n<sub>обн</sub></b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	<b>α<sub>ср</sub></b>
<b>α<sub>1</sub></b>	0,26	0,29	0,33	0,24	0,30	0,26	0,23	0,28	0,24	0,24	0,31	0,26	<b>0,27</b>
<b>α<sub>2</sub></b>	0,16	0,12	0,15	0,18	0,22	0,16	0,20	0,19	0,12	0,13	0,18	0,16	<b>0,16</b>
<b>α<sub>3</sub></b>	0,10	0,13	0,17	0,14	0,14	0,09	0,15	0,08	0,21	0,10	0,08	0,11	<b>0,13</b>
<b>α<sub>4</sub></b>	0,50	0,50	0,33	0,33	0,25	0,50	0,33	0,50	0,33	0,50	0,50	0,50	<b>0,42</b>

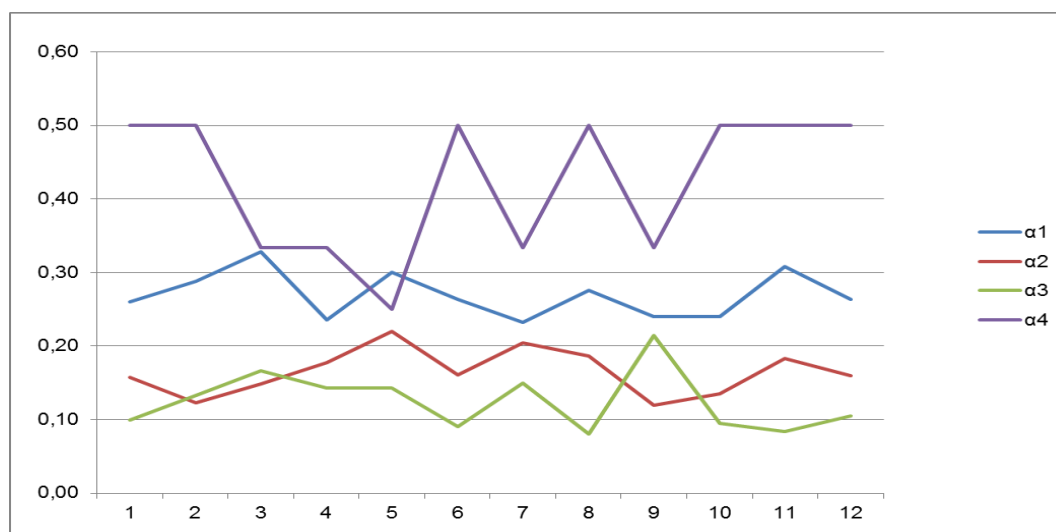


Рисунок 16 – Графическое представление коэффициентов отказа в пропуске багажа ( $\alpha_i$ ) по уровням досмотра

**Четвертая глава** посвящена анализу влияния и особенностям учета человеческого фактора в системе управления ТБ в аэропорту.

В силу свойственных любому человеку психологических и психофизиологических ограничений, при выполнении своих функциональных обязанностей он не застрахован от непреднамеренных ошибок (выполнения ошибочных действий). Эти ошибки связаны с проявлением «человеческого фактора» при взаимодействии человека и технических систем. Их причины могут быть связаны:

- с воздействием внешних факторов;

- с физическим и психологическим состоянием человека;
- с ограниченностью, привлекаемых для поддержки и исполнения принятых решений ресурсов;
- с недостатками информационного обеспечения процесса.

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

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

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 ТБ необходимо на постоянной основе контролировать эти факторы в повседневной деятельности сотрудников подразделения ТБ. При этом предлагается использовать возможности искусственного интеллекта (контроль температуры, давления, пульса; разработать перечень вопросов для оценки психологического состояния сотрудника подразделения ТБ). Для оценки профессиональной компетентности инспекторов по досмотру багажа предлагается использовать разработанную имитационную модель (учитывать параметр  $P_{ЛТ}^i$  – вероятность ложной тревоги). Перспективы применения нейросетевых технологий на базе распознавания образов в системе квалиметрического управления процессом обработки багажа позволят повысить эффективность процесса досмотра и сократить время его проведения.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

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 досмотра в целях получения количественных оценок качества его проведения в системе управления ТБ в аэропорту. В ходе проведенных исследований получены следующие результаты:

- на основе проведенного анализа состояния транспортной безопасности в ГА РФ установлены недостатки и проблемы, снижающие уровень транспортной безопасности в аэропортах;
- обоснованы и предложены количественные показатели безопасности в системе досмотра, которые на основании процессного подхода к перевозке пассажиров на воздушном транспорте позволили выработать нормативные значения вероятностных характеристик возникновения особых ситуаций на борту воздушного судна «по вине» подразделения транспортной безопасности;
- с учетом требований норм летной годности самолетов транспортной категории сформулированы критерии ранжирования тяжести происшествий, связанных с недостатками проведения досмотра, предполагающие их возможные последствия;
- предложена методика количественной оценки рисков процесса досмотра для оценки уровня безопасности воздушных перевозок в системе управления транспортной безопасностью аэропорта, учитывающая согласованность мнений экспертов;
- разработана имитационная модель системы досмотра с помощью аппарата сетей Петри, позволяющая наиболее наглядно осуществлять верификацию протокола обеспечения транспортной безопасности процесса досмотра в аэропорту;

– проведено испытание разработанной имитационной модели многоуровневой системы досмотра багажа, реализованной в программной среде CPN Tools. При этом сравнительный анализ полученных экспериментальных данных с реальными показал, что 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;

– предложена авторская технология квалиметрического 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 изучения логико-временных особенностей процессов их функционирования, учитывающих различные факторы неопределенности с применением нечетких сетей Петри (НСП) и элементов искусственного интеллекта.

#### СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

*Научные статьи, опубликованные в изданиях, определенных ВАК при Минобрнауки РФ*

1. 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.

2. Волков, А.К. Применение энтропийно-вероятностной модели оператора рентгенотелевизионного 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.

3. 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.

4. Юдаев, В.В. Моделирование процесса вероятной реализации акта незаконного вмешательства в аэропорту и его нейтрализации / В.В. Юдаев, А.А. Гладких, Т.Г. Уласюк // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2023. № 42. С. 118–125.

*Научные статьи, опубликованные в Scopus*

1. Daletsky S. VLADIMIROVICH, Kolitievsky 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

2. 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

*Работы, опубликованные в других изданиях*

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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. Материалы Международной научно-практической конференции. 29-30 ноября 2016 г. СПб. : ИПТ РАН. – Санкт-Петербург, 2016. Том 2. – С. 202–206.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. Юдаев, В.В. Моделирование систем физической безопасности на основе аппарата сетей Петри / В.В. Юдаев, А.В. Богданов, О.А. Королев // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». 2019. № 4. С. 82–88.