На правах рукописи

ОВЧЕНКОВ НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ АЭРОПОРТА

Специальность: 2.9.6 – «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники» (технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова» (ЯрГУ) на кафедре «Теоретическая информатика».

Научный консультант: **Борзова Анжела Сергеевна**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА), проректор по учебно-методической работе и молодежной политике.

Официальные оппоненты: **Куклев Евгений Алексеевич**,
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации», профессор кафедры «Авиационная техника и диагностика»,

Соломенцев Виктор Владимирович,
доктор технических наук, профессор, АО «Азимут», заместитель генерального директора по научной работе и развитию,

Мазаник Александр Иванович,
доктор военных наук, профессор, ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика», главный научный сотрудник научно-исследовательского центра.

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева» (УИ ГА).**

Защита состоится 12 марта 2025 года в 15 часов на заседании диссертационного совета 42.2.001.01 на базе ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации» по адресу: 125993, Москва, А-493, ГСП-3, Кронштадтский бульвар, 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте ФГБОУ ВО МГТУ ГА www.mstuca.ru.

Автореферат разослан 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 42.2.001.01 д.т.н., профессор В.М. Самойленко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Современные транспортные системы занимают одно из ведущих мест в организационно-управленческой структуре государства, динамично развиваются и требуют постоянного внимания к решению возникающих специфических проблем. Одной из важнейших характеристик транспорта и критерием его существования является безопасность, поскольку отсутствие (снижение) приемлемого уровня таковой ставит под сомнение вопрос об эффективности предоставления транспортных услуг.

Безопасность определяется как состояние, т.е. характеризуется некоторым множеством устойчивых значений параметров объекта. Авиационная безопасность (АБ), являясь частью транспортной безопасности (ТБ), определяется как состояние защищенности гражданской авиации от незаконного вмешательства в ее деятельность.

Гражданская авиация представляет собой многофункциональный, иерархический комплекс, обеспечивающий потребности страны в авиационных транспортных услугах. Как единая структура гражданская авиация с точки зрения системотехники относится к категории сложных систем. В силу своей специфики исследование сложных систем далеко не всегда завершается успешно, поэтому развитие гражданской авиации основано на всестороннем и глубоком исследовании процессов и процедур функционирования отрасли, выявлении соответствующих закономерностей, их обобщении и формализации в формате законов существования и динамики развития. Все это в полной мере относится к исследованию проблем безопасности гражданской авиации как отдельной предметной области.

Транспортная безопасность аэропорта понимается в рамках определения как некоторое состояние защищенности. Состояние – это отвлеченное понятие, обозначающее множество устойчивых значений переменных параметров объекта, т.е. транспортная безопасность как состояние представляет собой многопараметрическую характеристику объекта. В качестве объекта диссертационного исследования выбран аэропорт как наиболее сложная эксплуатационная единица в структуре гражданской авиации. Если говорить о состоянии объекта защиты, то его следует рассматривать как единую систему, относящуюся к категории сложных систем. В таком случае, решение проблемы обеспечения транспортной безопасности аэропорта становится основным направлением повышения эффективности транспортных процессов.

Поскольку транспортная (авиационная) безопасность аэропорта имеет некоторые граничные значения, за пределами которых эксплуатационные риски штатной работы авиационной техники становятся недопустимыми, возникает проблема управляемости безопасности.

Проблема состоит в том, что действующие системы безопасности ориентированы на понятие обеспечение безопасности и реализуют алгоритм достижения некоторого уровня безопасности, который состоит из следующих этапов: идентификация и описание объекта защиты, разработка требований по безопасности объекта, экспертная оценка соответствия требований реальным параметрам безопасности, сравнение полученного и приемлемого уровней безопасности. Неудовлетворительный результат сравнения корректируется совершенствованием параметров системы защиты объекта, переработкой требований, снижением приемлемого уровня безопасности объекта.

Рассмотренный алгоритм нельзя квалифицировать как управление безопасностью. В соответствии с теорией организационных структур это менеджмент, который далеко не всегда

достаточен для достижения приемлемого уровня безопасности. Требуется более точное регулирование, т.е. подход, основанный на теории оптимального управления. В этом случае алгоритм реализует принципы информационного управления и методы математического моделирования.

С этих позиций актуальность темы диссертационного исследования не вызывает сомнений.

Степень разработанности темы.

Глубина проработки темы определяется уровнем проведенных исследований по выбранным научным направлениям в рамках соответствующей предметной области. Предметная область представляет собой, как правило, сложную систему, основным инструментом исследования которой является моделирование. На сегодняшний день в гражданской авиации сформировано достаточно много устойчивых предметных областей, исследование которых предполагается в автономном режиме, т.е. в каждом направлении выявляется некоторое множество закономерностей, которые в своей совокупности выделяют и описывают границы этой предметной области. В области транспортной безопасности можно выделить несколько важных научных направлений.

Прежде всего, это анализ предметной области, связанной с транспортной безопасностью аэропорта, с целью выделения актуальных направлений применения методов и технологий информационного управления безопасностью, включая: краевые задачи теории поля как инструмент интеллектуальной формализации безопасности; нейронные сети как инструмент интеллектуального моделирования безопасности; интеллектуальные технологии для решения задач информационного управления безопасностью; информационно-управляющее пространство безопасности как интеллектуальный центр сбора и обработки динамических данных о ситуации в объекте защиты; модели и методы моделирования пространства угроз и пространства уязвимостей в формате краевой задачи, а также методология информационного управления негативным влиянием персонала сил обеспечения транспортной безопасности аэропорта в процессе выполнения профессиональной деятельности и методология интеллектуального управления транспортной безопасностью аэропорта на основе методов нейросетевого моделирования.

Исследование проблем транспортной безопасности в рамках указанных направлений в работе осуществлялось с учетом научных достижений, полученных в известных исследовательских центрах: институты безопасности РАН, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации, Ульяновский институт гражданской авиации, НУЦ «АБИНТЕХ» и другие.

Целью диссертационного исследования является решение важной научной проблемы повышения эффективности управления транспортной безопасностью аэропорта.

Объект и предмет исследования.

Объектом исследования является система управления транспортной безопасностью аэропорта. Предметом исследования выступают модели и методы информационного управления транспортной безопасностью.

Задачи исследования.

1. Анализ проблем транспортной безопасности аэропорта.

2. Разработка ситуационной модели безопасности аэропорта в формате взаимодействующих и противоборствующих пространств угроз и защиты.

3. Моделирование пространства угроз безопасности объекта в формате краевой задачи в виде дифференциальных уравнений в частных производных.

4. Ранжирование и классификация субъектов пространства защиты объекта на основе нейросетевой модели.

5. Разработка методов парирования негативного влияния человеческого фактора.

6. Разработка структуры системы и процедур информационного управления транспортной безопасностью аэропорта.

Методология и методы исследования.

Методология настоящего исследования основана на комплексном использовании положений теории сложных систем, теории оптимального управления, теории организационных структур, теории принятия решений, теории квалиметрии, теории рисков и использует эвристический подход. Методы исследования включают элементы системотехники и математического моделирования.

Совершенствование методов и средств управления транспортной безопасностью в значительной степени определяется информационной составляющей. Современные компьютерные технологии обработки информации развиваются достаточно успешно и применяются в безопасности достаточно эффективно, однако, методы формализации и алгоритмизации процессов и процедур управления транспортной безопасностью проработаны недостаточно и требуют серьезного развития.

Транспортная (авиационная) безопасность, как состояние, возникает в результате противостояния двух систем: совокупности угроз (опасностей) и системы защиты и характеризуется понятием уязвимость, которое отвечает на вопрос: в какой степени объект соответствует требованиям по безопасности. Безопасность обеспечивается, в том числе, совокупностью средств защиты, каждое из которых создает отдельный фрагмент защиты объекта, а все вместе формируют некоторую среду, которая представляется как пространство безопасности по аналогии с теорией поля. В таком случае, обеспечение как менеджмент транспортной безопасности (организационное управление) преобразуется в оптимальное управление пространством безопасности (информационное управление).

С этой целью осуществляется сбор и обработка информации о динамике изменения параметров исследуемого объекта. Система управления безопасностью включает большой объем информационных каналов, по которым циркулируют информационные массивы, отражающие ситуацию в объекте защиты и требующие соответствующей обработки. Практическая реализация системы основана на современных достижениях в области компьютерных технологий, которые можно применить в области безопасности, но главные трудности в процессе адаптации состоят в отсутствии или низком уровне методологии постановки задач, математической формализации процессов и алгоритмизации процедур.

Научная новизна диссертационного исследования.

Научная новизна состоит в том, что впервые разработаны:

– базовые принципы и концепция информационного управления транспортной безопасностью;

– методы формализации угроз безопасности аэропорта в формате гипотетического пространства;

– методы моделирования пространства угроз безопасности аэропорта;

– модели и методы моделирования уязвимости аэропорта;

– методы сценарного управления безопасностью в формате информационных технологий;

– модель и методика нейросетевого управления уровнем транспортной безопасности аэропорта;

– новое содержание понятий «человеческий фактор» и «негативное влияние персонала» в транспортной безопасности и их теоретическое обоснование;

– модели и методы моделирования фактора «негативное влияние персонала».

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость состоит в решении актуальной проблемы корректного перехода от обеспечения к управлению транспортной безопасностью аэропорта, имеющей важное государственное значение и связанное с разработкой адекватных математических моделей и методов формализации процессов и с использованием современных информационных технологий, формирующих основные положения нового научного подхода к безопасности.

Практическая значимость результатов исследования состоит в получении численных результатов математического моделирования исследуемых объектов транспортной безопасности, что позволяет решать практические задачи информационного управления безопасностью, а также в разработке и исследовании экспериментальных вариантов нейронных сетей для целей безопасности и соответствующих методик, что обеспечивает переход к технологиям информационного управления безопасностью и повышению эффективности управленческих процедур.

Положения, выносимые на защиту:

– теоретическое обоснование методологии информационного управления транспортной безопасностью аэропорта, которое определяет основные направления совершенствования систем обеспечения безопасности в гражданской авиации;

– методы и средства формализации и алгоритмизации процессов управления транспортной безопасностью в условиях обработки больших информационных массивов;

– метод идентификации совокупности внешних и внутренних угроз безопасности аэропорта в виде гипотетического пространства в терминах теории поля и его формализация в формате краевой задачи с использованием дифференциальных уравнений в частных производных;

– модели, метод и процедуры моделирования пространства угроз безопасности аэропорта в формате краевой задачи и в формате нейронной сети;

– метод информационного управления транспортной безопасностью аэропорта с учетом негативного влияния несанкционированных действий персонала в процессе профессиональной деятельности;

– модель и процедуры ранжирования персонала по уровню квалификационной готовности к исполнению своих профессиональных функций на основе компетентностного подхода.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Обеспечивается адекватной постановкой задач и корректным использовании математического аппарата, использованием известных теоретических положений, проверкой согласованности полученных и ранее известных результатов, обоснованием принятых допущений и ограничений, численным моделированием исследуемых объектов в системе MATLAB и в нейросетевом базисе.

Основные результаты диссертационной работы используются при проведении научных исследований и в учебном процессе МГТУ ГА, НУЦ «АБИНТЕХ», Московского регионального учебного центра ИКАО по авиационной безопасности ГосНИИ ГА; в производственной деятельности международных аэропортов «Шереметьево», «Внуково», «Домодедово», г.г. Сочи, Краснодар, Геленджик; производственной деятельности авиационных предприятий, ООО ПСЦ «Электроника».

Основные результаты представлены и обсуждены: Совещание Группы по инновациям в области авиационной безопасности, ИКАО, Сингапур, 2016 г.; Совещание Группы по авиационной безопасности – Европа и Северная Атлантика, ИКАО, Париж, Франция, 2017 г.; Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», Москва, 2016, 2018 г.; International scientific conference «Engineering, technologies, education, security», В.Тырново, Болгария, 2017, 2018, 2019 г.г.; International scientific and technical conference «Trans and MOTAUTO», Варна, Болгария, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 г.г.; International scientific conference «CONFSEC», Боровец, Болгария, 2017, 2018, 2019, 2020 г.г; заседаниях Ассоциации «Транспортная безопасность», Москва, Сочи, 2018, 2019, 2020 г.г.; Всероссийской научно-технической конференции «Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных», Красноярск. 2020 г.; заседаниях Межведомственной комиссии по авиационной безопасности, безопасности полетов и упрощению формальностей Минтранса РФ, Москва, 2020 г.

Личный вклад автора.

Основные результаты диссертационной работы являются оригинальными и получены либо лично автором, либо при его непосредственном участии, что подтверждено многочисленными публикациями и актом проверки по фондам Российской государственной библиотеки.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (272 наименования), приложений (в отдельном томе). Содержит 330 стр. текста, 105 рисунков и 8 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность исследований, сформулированы основные понятия, представлена предметная область исследований, определены: цель и задачи работы, гипотеза ее решения, методы исследований.

В первой главе рассмотрены отдельные теоретические вопросы обеспечения и управления транспортной безопасностью: эволюция систем управления, интеллектуальное и информационное управления, угрозы безопасности, уязвимость объекта транспортной инфраструктуры, персонал транспортной безопасности.

Безопасность достаточно сложное понятие, включающее при его исследовании различные подходы, реализация которых приводит к понятию интеграция средств обеспечения транспортной безопасности. Научная идея интеграции состоит в постепенном переходе от принципов нормативного управления безопасностью к автоматизированному, которое предполагает умение измерять уровень транспортной безопасности. Процедура управления представляет собой несколько этапов: первичная оценка безопасности, которая состоит в сравнении параметров ситуации в объекте защиты с нормативными требованиями, фиксирование по каждому параметру отклонений от нормативных значений, оценка степени несоответствия, формирование сигнала управления и включение исполнительных схем для ликвидации отклонений по каждому параметру.

Система безопасности должна быть готова к обнаружению и отражению любых угроз, т.е. система настраивается на гипотетические (потенциальные) угрозы. В действительности это означает, что система работает с двумя типами угроз: потенциальные и реализованные, при этом процедуры исследования реализованных угроз достаточно хорошо отработаны и понятны: главный принцип - не допустить повторения, а метод исследования – статистическое моделирование. Исследование гипотетических угроз предполагает новые подходы к математическому моделированию.

Авторский анализ возможностей использования математических моделей при решении задач обеспечения АБ в гражданской авиации показывает, что в прямой постановке задача математического моделирования не может быть решена в связи с непреодолимыми трудностями формализации. Для таких задач решение необходимо не получить, а принять. В основе такой модели лежит математическое представление моделируемых функций, а по входу модели (формализация) и по ее выходу (интерпретация результатов) используются эвристические процедуры. Наиболее адекватным в данном случае представляется математический аппарат теории поля, в частности, совокупность краевых задач, которые описываются системой дифференциальных уравнений в частных производных

Предложенный подход рассматривает исследуемые объекты, а это система угроз (опасностей), система защиты и система безопасности, в формате некоторых гипотетических пространств. В таком случае, с учетом используемых моделей правомочно говорить о некотором информационно-управляющем пространстве, где совмещены все три исследуемых пространства.

Современные системы обеспечения и управления транспортной безопасностью создавались и развивались эволюционно, проходя в своем становлении определенные этапы: совокупность технических и других средств обеспечения защиты объекта; комплексирование этих средств в условиях концентрации системного управления; интегрированные системы

безопасности; автоматизированные системы управления транспортной безопасностью, в которых реализуется инцидентное и информационное управления (Рисунок 1).

Инцидент безопасности – это событие, зафиксированное системой и свидетельствующее о нестандартной ситуации в объекте защиты и наличии негативных событий. Информационное управление безопасностью – это управление через информацию, автоматизированный анализ данных.

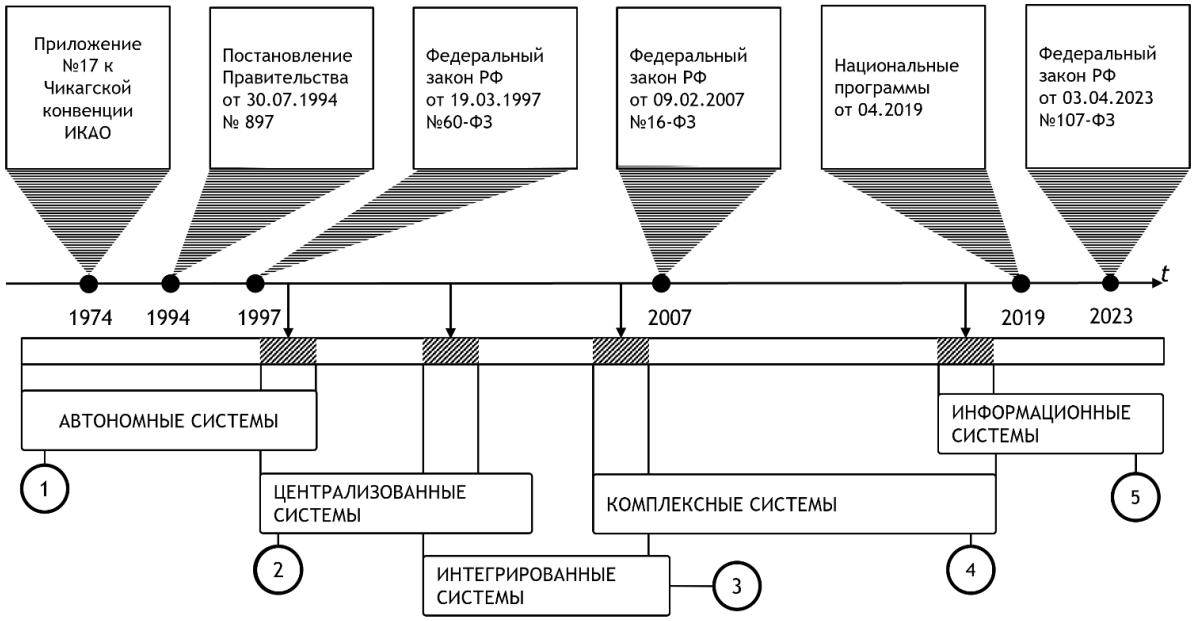


Рисунок 1 – Эволюция систем транспортной безопасности

Система транспортной безопасности включает объект защиты, внешнюю и внутреннюю среду как источники угроз безопасности, сами угрозы и систему защиты объекта. В результате взаимодействия этих элементов в объекте складывается некоторая ситуация как состояние объекта, характеризуемое уровнем транспортной безопасности, который должен быть приемлем. Достижение этого уровня определяется успехами в развитии методологии и технологии. Современные технологии могут обеспечить корректный переход от обеспечения безопасности к оптимальному управлению безопасностью только в том случае, если они основаны на достижениях в области вычислительной техники и включают мощные компьютерные системы. Вместе с тем, методология решения задач безопасности, тем более задач, связанных с транспортной безопасностью существенно отстает от успехов компьютерных технологий, поскольку подобные задачи характеризуются существенной степень неопределенности в формальном описании процессов и процедур безопасности Возникает серьезное противоречие между методологией и технологией, связанное с практическим отсутствием моделей и методов, формализующих процедуры в условиях реализации оптимального управления.

Решение этой глобальной задачи, которое предлагается в данной работе, обеспечит успехи в развитии и совершенствовании оптимального управления транспортной безопасностью с точки зрения повышения его эффективности.

Во второй главе рассматриваются некоторые известные методы и технологии, имеющие широкий круг применимости для решения задач управления, с точки зрения их использования в задачах интеллектуального управления транспортной безопасностью.

С позиций системотехники информационное управление реализуется с использованием оптимального, ситуационного и адаптивного подходов (Рисунок 2).

Рисунок 2 - Принципы информационного управления транспортной безопасностью

Для реализации оптимального управления необходимо иметь закон движения объекта, описывающий его динамические свойства. Тогда изменения управляющих параметров будут контролировать состояние управляемого объекта в допустимых пределах.

Закон движения может иметь вид

$$\frac{dx^i}{dt} = f^i(x^1, \ldots, x^n, u^1, \ldots, u^r), \quad i = 1,\ldots, n, \tag{1}$$

а управление объектом как функция времени

$$u^j = u^j(t), \quad j = 1,\ldots, r, \tag{2}$$

определяется параметрами в каждый момент времени.

Ситуационное управление осуществляется на основе оценки и анализа ситуации в системе, и представляет собой процесс формирования целесообразного поведения управляемой системы как ее перевод из одного состояния в другое в соответствии с целевой функцией.

Адаптивное управление особенно актуально в автоматизированных системах, где подсистема управления должна быть адаптирована и гармонизирована с динамикой изменения параметров среды.

Интеллектуальные системы управления основаны на интеллектуальном анализе информации о ситуации в объекте защиты и являются развитием класса интегрированных систем, что предполагает адаптацию и развитие принципов управления, которые положены в основу более ранних классов в структуре эволюционного развития.

Информационное управление проектируется на основе модели защиты объекта, решающей задачу максимально быстро идентифицировать угрозу безопасности и ликвидировать ее, минимизировав ущерб.

Первым шагом в этом направлении является технология ESM (Electronika Security Manager) – один из первых отечественных программных продуктов, который можно рассматривать как технологию, позволяющую эффективно интегрировать организационные мероприятия в единый комплекс системы безопасности.

Развитие информационного управления связано с технологией PSIM (Physical security information management) - система управления физической безопасностью – программная платформа, которая собирает и обрабатывает информацию от устройств обеспечения безопасности и формирует их в единое информационное пространство. Концепция PSIM – управление через информацию, автоматизированный анализ данных и единый пользовательский интерфейс. Главное в концепции PSIM – переход от практики узконаправленного инцидентного управления к полноформатному информационному менеджменту.

Data Mining (интеллектуальный анализ данных) – технология выявление скрытых взаимосвязей внутри больших баз данных, основанная на понятиях: математическая статистика (кластерный анализ, регрессионный анализ и т.д.), искусственный интеллект (нейронные сети), машинное обучение (интеллектуальная обработка данных

Функциональная значимость информационного управления состоит в гарантированной ликвидации некоторой совокупности угроз, которая по своему составу весьма неоднородна. В таком случае необходимо иметь некоторое распределение угроз по топологии аэропорта на основе моделирования этой совокупности.

В прямой постановке задача математического моделирования пространства угроз не дает адекватного решения в связи с трудностями вычисления коэффициентов модели. Приходится использовать эвристические процедуры, которые переводят модель из разряда точных, в разряд качественных, что с учетом целей моделирования в данном случае вполне приемлемо. При таких условиях в качестве математической модели предлагается использовать краевые задачи теории поля в формате дифференциальных уравнений в частных производных:

$$A\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+B\frac{\partial^2 u}{\partial x\partial y}+C\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+D\frac{\partial u}{\partial x}+E\frac{\partial u}{\partial y}+Fu=G\,, \tag{3}$$

где *A, B, C, D, E, F* и *G* – заданные функции независимых переменных *x* и *y* или

$$\begin{aligned}&\frac{\partial}{\partial x}\left[\sigma_1\left(x,y,z,t,u\right)\frac{\partial u}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\sigma_2\left(x,y,z,t,u\right)\frac{\partial u}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\sigma_3\left(x,y,z,t,u\right)\frac{\partial u}{\partial z}\right]=\\&=a\left(x,y,z,t,u\right)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}+b\left(x,y,z,t,u\right)\frac{\partial u}{\partial t}+c\left(x,y,z,t,u\right)u+d\end{aligned} \tag{4}$$

Процесс распространения опасности по топологии объекта защиты предлагается рассматривать как процесс диффузии:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\sigma(x,y)\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\sigma(x,y)\frac{\partial u}{\partial y}\right)=f(x,y),\quad (x,y)\in D, \tag{5}$$

где u - уровень опасности, $\sigma(x,y)$ - проницаемость опасности,

$f(x,y)$ - плотность распределения источников опасности.

Следует учитывать, что для этих целей можно использовать различные типы дифференциальных уравнений, но при этом каждый тип уравнения должен быть соотнесен только с определенным типом угрозы из всей совокупности. В таком случае, отдельные результаты решения задачи моделирования должны быть проанализированы совместно, а общее решение должно быть принято с помощью определенных эвристических алгоритмов в рамках теории принятия решений.

Результат моделирования представляет собой некоторое распределение интенсивности угроз по топологии объекта транспортной инфраструктуры, что позволяет выделить экстремальные точки воздействия и включить их в список приоритетных при мониторинге ситуации. С учетом трудностей математического моделирования для этих целей может быть эффективен метод электрического моделирования с использованием гибридных сеточных моделей и нейросетевое моделирование.

Современная теория электрического моделирования краевых задач объединяет три основные группы: методы непрерывного времени, методы дискретного представления времени и методы квазианалогий.

В первом случае метод сводится к замене параметров элементов пространства сосредоточенными электрическими параметрами, из которых образуются схемы замещения. Электрическое моделирование сводится к решению уравнений Кирхгофа для всех узловых точек электрической сетки, каждое из которых имеет вид:

$$\frac{U_{x-1.y.z}}{R_1}+\frac{U_{x+1.y.z}}{R_2}+\frac{U_{x.y+1.z}}{R_3}+\frac{U_{x.y-1.z}}{R_4}+ \\ +\frac{U_{x.y.z+1}}{R_5}+\frac{U_{x.y.z-1}}{R_6}-U_{x.y.z}\sum_{i=1}^{6}\frac{1}{R_1}=C\frac{dU_{x.y.z}}{dt}, \tag{6}$$

где x, y, z – координаты узловой точки; R_1 – R_6 – электрическое сопротивление ветвей; C – емкость узловой точки.

Во втором случае пространство разбивается на отдельные элементы, каждый из которых моделируется электрической схемой замещения, т.е. правая часть уравнения заменяется отношением конечных разностей

$$b_{x.y.z}\frac{dU}{dt}\approx b_{x.y.z}\frac{\Delta U}{\Delta t}, \tag{7}$$

где Δ t составляет конечный отрезок времени между моментами t_{i+1} и t_z, а $\Delta U=U_{t+\Delta t}-U_t$ является приращением функции в данной точке за отрезок времени Δt.

Путем формальной замены

$$\frac{\Delta t}{b_{x.y.z}}=R_t(x.y.z) \tag{8}$$

конечно-разностное уравнение для произвольной узловой точки с координатами x, y, z приобретает вид:

$$\frac{U_{x-1,y,z}}{R_1}+\frac{U_{x+1,y,z}}{R_2}+\frac{U_{x,y-1,z}}{R_3}+\frac{U_{x,y+1,z}}{R_4}+\frac{U_{x,y,z-1}}{R_5}-U_{x,y,z}\sum_{i=1}^{6}\frac{1}{R_i}=$$
$$=-\frac{U_{x,y,z}\,(t+\Delta t)-U_{x,y,z,t}}{R_t}\ , \qquad (9)$$

Состояние квазианалоговой модели описывается уравнениями, которые эквивалентны уравнениям объекта лишь в отношении получаемых результатов. Если объект описывается системой уравнений $AX_H = Y$, в которой A – матрица коэффициентов; X_H – вектор искомой функции; Y – заданный вектор, то квазианалоговая модель решает некоторую систему уравнений BX_M=Y+F+ε, где B – матрица коэффициентов уравнений модели; X_M – вектор искомой функции, получаемой на модели; F – некоторая дополнительная функция; ε – отклонения искомой функции X_M, получаемой на модели, от функции X_H (вектор «невязок»).

Для получения на модели результатов, эквивалентных объекту, вектор дополнительной функции F подбирается определенным образом так, чтобы обеспечить $\varepsilon = X_H - X_M \to 0$.

Особый интерес для решения краевых задач представляют нейрокомпьютеры и нейронные сети. Для решения сложных, плохо формализуемых и слабоструктурированных задач в качестве инструмента решения широко применяются искусственные нейронные сети, которые способны к обучению и обобщению. При этом обучение сводится к настройке параметров сети, а обобщение означает способность сети распознавать ситуации, на которых сеть не обучалась (Рисунок 3).

Рисунок 3 – К понятию нейронных сетей

Схема обработки информации в полно связной многослойной сети, содержащей M слоев, выглядит так:

$$\mathbf{x} \to \mathbf{W}^{(1)} \xrightarrow{\mathbf{s}^{(1)}} \mathbf{f}_1\left(\mathbf{s}^{(1)}\right) \xrightarrow{\mathbf{y}^{(1)}} \ldots \xrightarrow{\mathbf{y}^{(M-2)}} \mathbf{W}^{(M-1)} \xrightarrow{\mathbf{s}^{(M-1)}} \mathbf{f}_{M-1}\left(\mathbf{s}^{(M-1)}\right) \xrightarrow{\mathbf{y}^{(M-1)}}$$
$$\xrightarrow{\mathbf{y}^{(M-1)}} \mathbf{W}^{(M)} \xrightarrow{\mathbf{s}^{(M)}} \mathbf{f}_M\left(\mathbf{s}^{(M)}\right) \to \mathbf{y}^{(M)}$$

где $\mathbf{x}$ — вектор входа; $\mathbf{W}^{(i)}$ — матрица весов слоя i ; $\mathbf{s}^{(i)}$ — вектор выходов адаптивных сумматоров слоя i; $\mathbf{y}^{(i)} = \mathbf{f}_i\left(\mathbf{s}^{(i)}\right)$ — вектор выхода слоя i; $\mathbf{f}_i$ — вектор-функция активации слоя i .

Режим обучения нейронной сети является важнейшим, отличающим сеть от других типов моделей. Сходство с нейроном человеческого мозга и алгоритм обучения обеспечивают результат моделирования, объяснить который невозможно, но именно это важно в задачах безопасности.

При использовании последовательного обучения настройка весов и смещений производится после подачи каждого вектора обучающей выборки, а функционал ошибки сети рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N^{(M)}} e_i^2 = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N^{(M)}} \left(y_i^{(M)} - t_i\right)^2, \tag{10}$$

где $N^{(M)}$ — число нейронов выходного слоя, M — число слоев, $\mathbf{e} = \left[e_i\right]$ — вектор ошибок на выходе сети, $e_i = y_i^{(M)} - t_i$ — ошибка на выходе i , $\mathbf{y} = \left[\, y_i^M \,\right]$ — выходной вектор сети, $\mathbf{t} = \left[t_i\right]$ – вектор целей.

В пакетном режиме обучения настройка весов производится после предъявления сети множества векторов, а функционал ошибки имеет вид

$$E = \frac{1}{2}\sum_{q=1}^{Q}\sum_{i=1}^{N^{(M)}} \left(e_i^{(q)}\right)^2 = \frac{1}{2}\sum_{q=1}^{Q}\sum_{i=1}^{N^{(M)}} \left(y_i^{(qM)} - t_i^{(q)}\right)^2, \tag{11}$$

где Q — объем обучающей выборки, q — номер обучающего примера, $e_i^{(q)} = y_i^{(qM)} - t_i^{(q)}$ — ошибка на выходе i при подаче на вход примера q, $y_i^{(qM)}$ — i -ый выход выходного слоя M для входного примера q, $t_i^{(q)}$ — i -е значение вектора цели для входного примера q .

Ошибка сети характеризуется *функцией потерь* (Loss Function) - неотрицательное число, характеризующее качество работы сети:

$$L\left(e_i\right) = \left(y_i - t_i\right)^2,$$

где e_i — ошибка i-го выхода, y_i — значение выходного сигнала, t_i —целевое значение.

В третьей главе исследуется информационно-управляющее пространство как форма представления безопасности и метод управления ее уровнем.

Как было отмечено, уровень развития основ теории и методологии безопасности значительно отстает от уровня разработанных компьютерных технологий, что серьезно осложняет совершенствование и развитие автоматизированных систем транспортной

безопасности на базе информационного управления. В этих условиях предлагается решать задачу обеспечения безопасности с помощью информационно-управляющего пространства (ИУП), рассматриваемого как некоторый интерфейс или адаптер между противоборствующими пространствами (Рисунок 4).

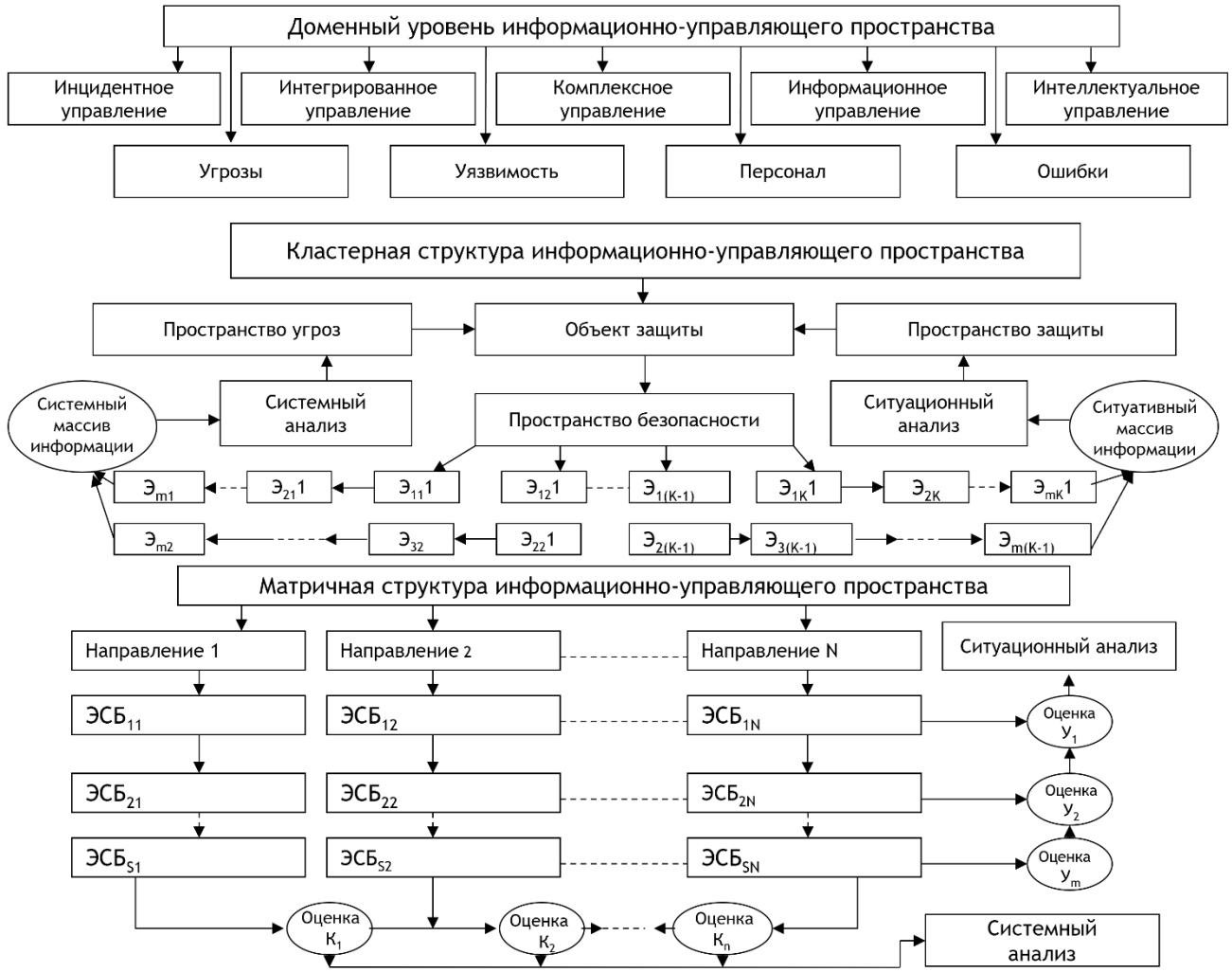


Рисунок 4 – Базовая структура информационно-управляющего пространства

Информационно-управляющее пространство представляет собой единый глобальный центр управления транспортной безопасностью, в котором сосредоточены основные модели сценариев и методов защиты объекта транспортной инфраструктуры, осуществляется интеллектуальный анализ больших объемов входной информации по ситуации в объекте, принимаются решения и вырабатываются управляющие команды для исполнительных элементов. ИУП обладает свойством дуальности: это виртуальный объект, где в обобщенном виде сосредоточены наши сиюминутные представления о сути явлений и процессов в объекте защиты, или это реальный программно-технический комплекс, обеспечивающий защиту объекта за счет своих исполнительных механизмов, который характеризуется функциональными моделями и конкретными алгоритмами деятельности.

Структура информационно-управляющего пространства представлена на трех уровнях. Доменный уровень отражает основные направления и функциональные границы

информационных массивов, однородных по смысловому содержанию. Кластерный уровень формирует предметные области математического моделирования, однородные с точки зрения методологии и различающиеся по функциональным признакам.

Матричная структура относится к функциональному уровню и включает структурированную совокупность процедурных решений по управлению транспортной безопасностью аэропорта.

Доменный уровень можно рассматривать как некоторую предметную область, в которой сосредоточены важные теоретические положения, определяющие научную основу информационного управления безопасностью.

На следующем уровне доменное представление структуры заменяется кластерным. Кластеры формируются внутри доменов, при этом теряется векторная направленность информационных массивов и повышается эффективность управляющих алгоритмов. Группа системных кластеров объединяет методы и алгоритмы обработки информационных массивов, группа ситуационных кластеров включает в свой состав оценочные процедуры и алгоритмы.

В каждом кластере концентрируется информация, необходимая для управления безопасностью по направлению, образуя при этом пересекающиеся множества данных. Анализ информационного массива состоит из двух частей: системный включает все, что относится к системотехническому управлению и обеспечивает управление структурами и элементами, реализуя их перестройку; ситуационный состоит в исследовании параметров процесса управления и обеспечивает реакцию системы на неблагоприятные внешние воздействия. Формально анализ приводится к исследованию линейной матрицы, где столбцы ассоциируются с направлениями (виды деятельности), а строки с критериями (угрозы, уязвимость и т.д.). Алгоритм реализации ИУП состоит из следующих этапов:

- ЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ,
- ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ,
- СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ,
- ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ,
- МОДЕЛЬ УГРОЗ ПЕРСОНАЛА БЕЗОПАСНОСТИ,
- ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА.

Лингвистическая модель включает умозрительное представление о ИУП, представленное в описательной форме.

Виртуальная модель отражает целевой функционал информационно-управляющего пространства (Рисунок 5). Здесь сосредоточены информационные массивы, соответствующие различным аспектам безопасности, а также различные аспекты идеологии, теории, методологии и технологий, предназначенные для обработки этой информации на основе системного и ситуативного анализа. Виртуальная модель отображает мысленное представление о функциях информационно-управляющего пространства.

Структурно-логическая модель представляет собой важнейший этап перехода от умозрительных представлений об ИУП к реально действующей системе (Рисунок 6). Модель имеет блочную структуру.

Рисунок 5 - Виртуальная модель ИУП

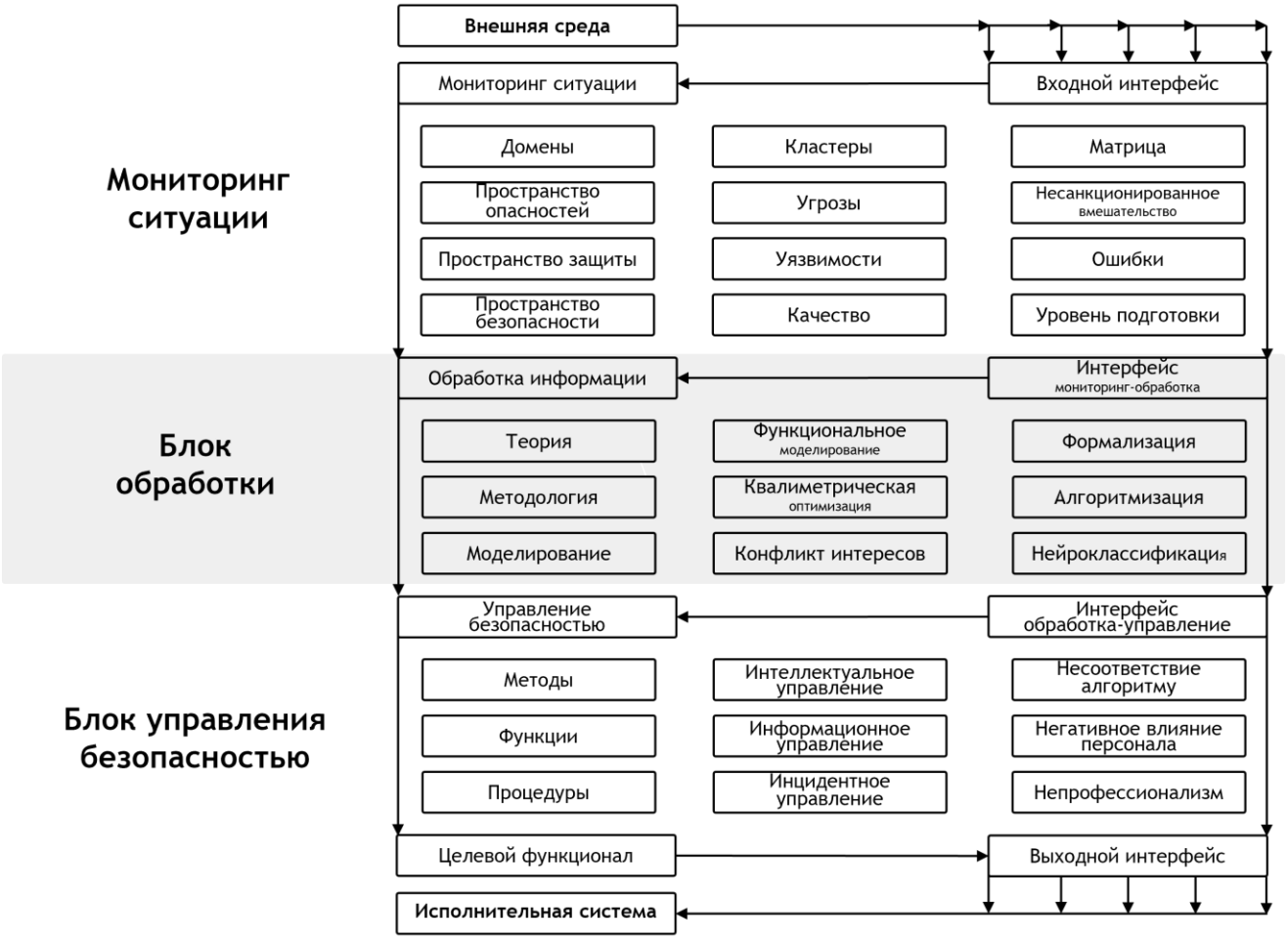


Рисунок 6 – Структурно-логическая модель ИУП

В блоке «мониторинг ситуации» формируются локальные массивы информации, отражающие соответствующие пространства, критерии и их параметры, отдельные процедуры. Блок обработки включает элементы теории, методологию и модели обработки информации в целях управления безопасностью, методы, алгоритмы и процедуры этой обработки. Фактически в блоке решается важнейшая задача управления безопасностью, а именно: формализация и разработка алгоритмов обработки больших объемов информации. Блок управления безопасностью объединяет методы, функции и процедуры в различных режимах информационного управления, включая интеллектуальное, информационное и инцидентное, с учетом соответствующих негативных воздействий.

Функциональная модель включает множество локальных моделей, отображающих отдельные функции системы управления безопасностью по направлениям деятельности. На рисунке 7, как один из возможных вариантов, представлена локальная функциональная модель процесса обработки единичной ошибки. Здесь впервые рассмотрено взаимодействие ESM и системы минимизации негативного влияния персонала (СМНВП).

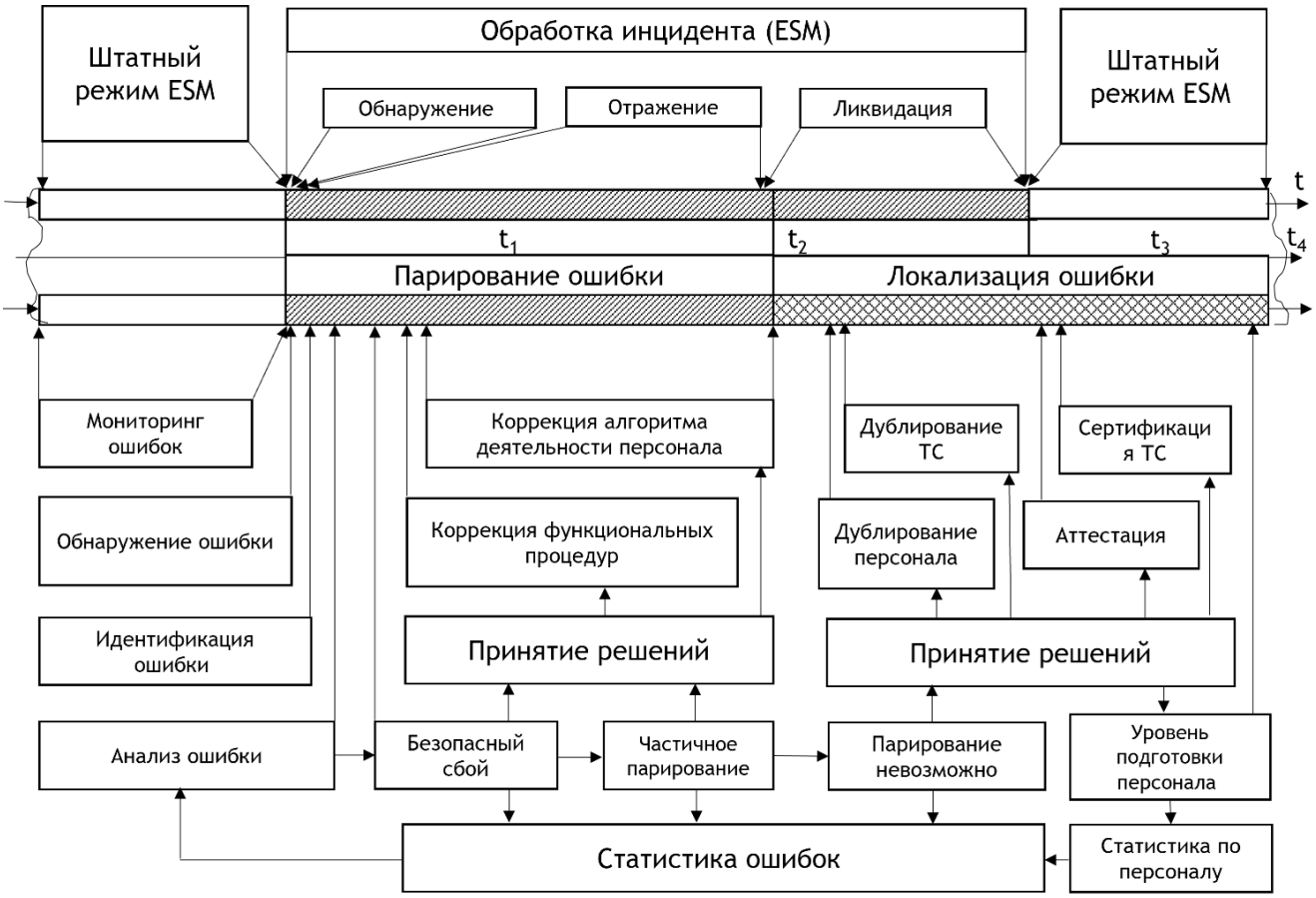


Рисунок 7 – Функциональная модель ИУП

Информационные массивы, как структурные, так и ситуативные, образуют пространства угроз, пространство защиты и, как итог, пространство безопасности. Они отражаются в формате информационно-управляющего пространства, где концентрируются в виде соответствующих параметров этого пространства, измерение и анализ которых лежит в основе принятия решений по управлению. Здесь формируются модели и алгоритмы управления, реализация которых в

цифровом формате представляет собой управляющее воздействие, и передаются на исполнительные системы.

В четвертой главе решается задача оптимизации пространства безопасности аэропорта на основе модели уязвимости объекта.

Обеспечение транспортной безопасности как процесс предполагает результат в достижение приемлемого уровня этой безопасности. Объект транспортной инфраструктуры находится под воздействием некоторой совокупности угроз его безопасности, защиту от которых осуществляет система обеспечения безопасности. В какой степени система защиты готова обеспечить приемлемый уровень безопасности можно оценить с помощью некоторого параметра (критерия), в качестве которого предложена уязвимость, отражающая степень удовлетворения требований к объекту защиты по безопасности. Для практических целей уязвимость должна найти свое отображение в количественном эквиваленте, для чего нужна некоторая модель уязвимости.

Процесс распространения угрозы для распределенных объектов рассматривается как процесс диффузии (5). Уравнение решается в области D, включающей защищаемый объект и окружающую территорию. Правая часть $f(x, y)$ уравнения означает некоторые источники угрозы. Проницаемость среды характеризует некое препятствие среды распространению угроз.

Уравнение диффузии представляет собой частный вид дифференциального уравнения в частных производных. Бывает нестационарным и стационарным.

Моделирующий алгоритм может быть записан с помощью операторных уравнений вида:

$$\boldsymbol{Z_i(t) = \varphi_i\{t, t_0, z_i(t), (t, X_{Li}]_{t0}^{t}\}} \quad (12)$$

В каждой j-ой реализации на модели i-ой подсистемы вектор-функцию $X_{Li}(t)$ выбирают из некоторого известного множества функций $L_i(t), t \in T_i$.

Основой этого метода служит преобразование Лапласа, которое связывает функцию F(s) комплексной переменной s (изображение) с соответствующей функцией f(t) действительной переменной t:

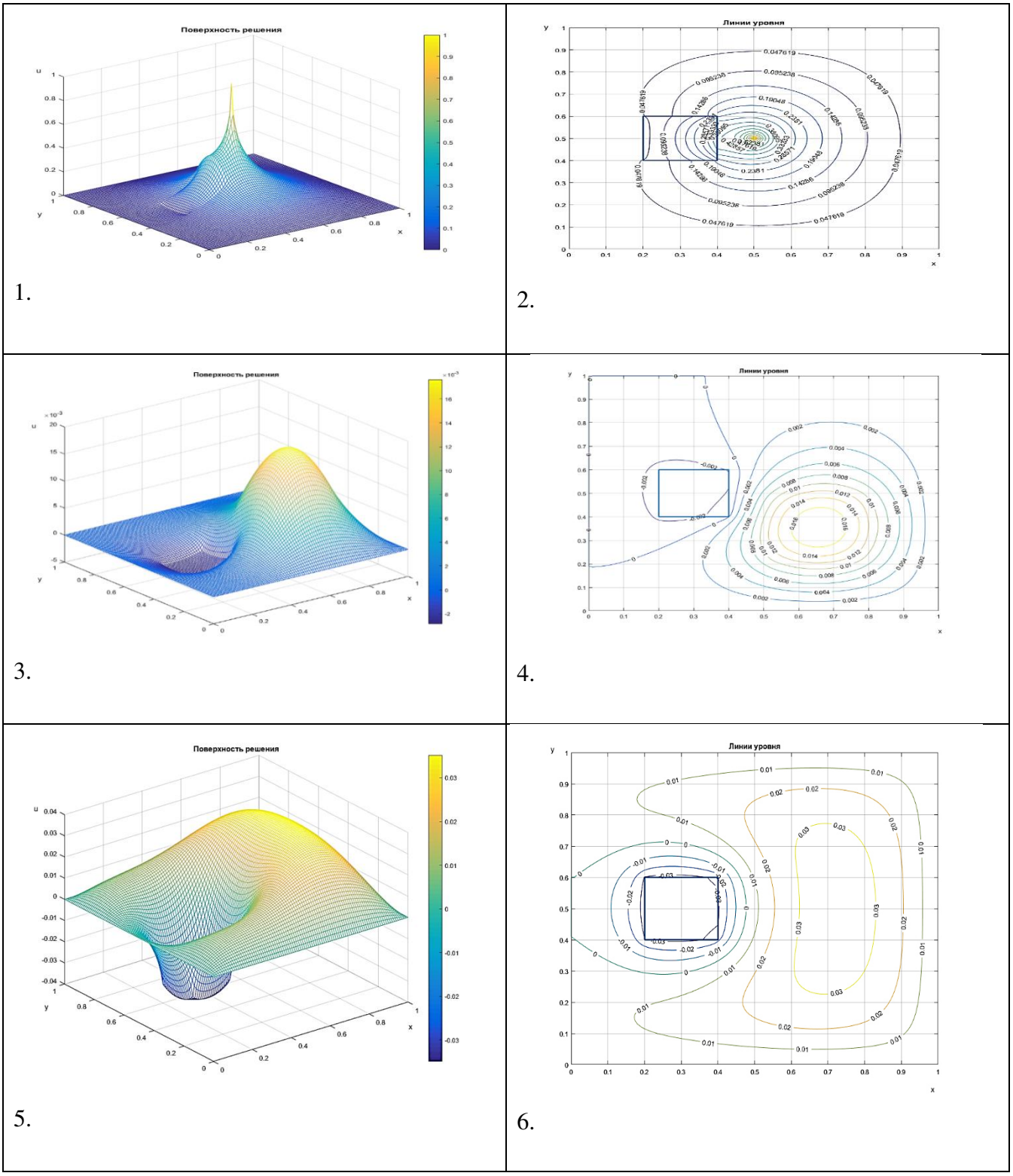
$$\boldsymbol{F(s) = L[f(t)] = \int f(t)e^{-st}\,dt} \quad (13)$$

Рассмотренная модель описывает стационарный (установившийся процесс). Фрагмент результатов моделирования представлен в виде распределения по топологии объекта защиты локальных значений опасности от заданной входной (Рисунок 8).

В нестационарном случает модель описывается уравнением параболического типа, в котором кроме граничных условий задаются начальные условия

$$U(x,0) = \psi(x), \quad 0 \le x \le l, \quad t = 0. \quad (14)$$

Распределение уязвимостей по топологии исследуемого объекта необходимо для разработки требований к системе защиты, позволяющих решать вопросы формирования структуры технических средств защиты.



1. 2. 3. 4. 5. 6.

Рисунок 8 – Стационарная задача. Результаты моделирования

Полученные результаты являются исходной информацией для решения задачи ранжирования аэропортов по критерию уязвимость.

Разработан вариант нейронной сети (классификатор аэропортов) с использованием инструмента визуального программирования Neural Network Pattern Recognition Tool пакета Deep Learning Toolbox системы MATLAB.

При постановке задачи рассматривается набор признаков в терминах машинного обучения, установленных федеральными нормативными правовыми актами в области обеспечения транспортной безопасности, отраслевыми нормами и приказами. Формируется набор данных для обучения нейронной сети.

В работе при обучении нейронные сети не используют алгоритмические последовательности, оперируя с создаваемыми образами. В процессе обучения за счет многократного варьирования исходным набором данных можно заложить в сеть многие нюансы, не поддающиеся формальному представлению, что дает возможность получить результат, практически не зависимый от субъективного мнения экспертов.

Расчет основных показателей качества нейросетевого классификатора, проведен по проверочному (валидационному) множеству: прецезионность (Precision) – 1,00; полнота (Recall) – 0.9; специфичность (Specificity) – 0.83; F_1-мера (F-score) – 0.95.

Представленный подход является этапом в решении глобальной задачи создания автоматизированной системы информационного управления уровнем транспортной безопасности объектов с распределенной структурой (аэропортов). Разработанный эвристический метод ранее непреодолимые трудности формализации исключает из процесса математического моделирования. Вопрос адекватности математической модели, достоверности и точности полученных результатов решается в рамках системы принятия решений при формировании требований к техническим средствам защиты на основе принципа приемлемости уровня транспортной безопасности.

В пятой главе исследуется несанкционированное вмешательство авиационного персонала как угроза безопасности аэропортовой деятельности.

Авиационный персонал и, в частности, персонал, обеспечивающий транспортную безопасность, реализует свою производственную деятельность в условиях повышенных требований к качеству результатов работы.

Достижение абсолютных результатов в этой сфере деятельности практически невозможно, т.е. всегда присутствует некоторое расхождение между требованиями и конечными результатами, что приводит к снижению уровня транспортной безопасности объектов защиты.

Появляется понятие негативного влияния персонала на безопасность, т.е. персонал можно рассматривать как некоторую угрозу безопасности объекта. Возникает задача минимизации негативного влияния персонала, которая в условиях информационного управления безопасностью требует создания соответствующей методологии.

Классические подходы к решению проблем человеческого фактора (ЧФ) в гражданской авиации практически себя исчерпали. Идея нового подхода состоит в принципиальном пересмотре физического смысла ЧФ, понимая, что ЧФ при строгом определении не фактор, а

гораздо более сложная и многогранная категория, относящаяся к сложным системам и имеющая целевой функционал, не поддающийся строгому математическому описанию.

Обычно решение состоит в минимизации человеческого фактора, что далеко не всегда возможно. Предлагается уйти от представления ЧФ как некоторого фактора и рассматривать его как угрозу безопасности объекта от незаконного вмешательства персонала в деятельность этого объекта, т.е. минимизировать необходимо часть ЧФ, которая представляет собой угрозу (опасность) производственной деятельности и является несанкционированным вмешательством.

С учетом высоких требований к результату каждая процедура управления безопасностью должна быть четко определена и детально прописана. С этой целью в транспортной безопасности разработаны и обязательны для исполнения стандартные эксплуатационные процедуры (СЭП). СЭП представляет собой определенную технологию или набор конкретных правил, однозначно определяющих каждую процедуру при обеспечении транспортной безопасности так, что цель выполнения процедуры достигается в полном соответствии с требованиями (Рисунок 9).

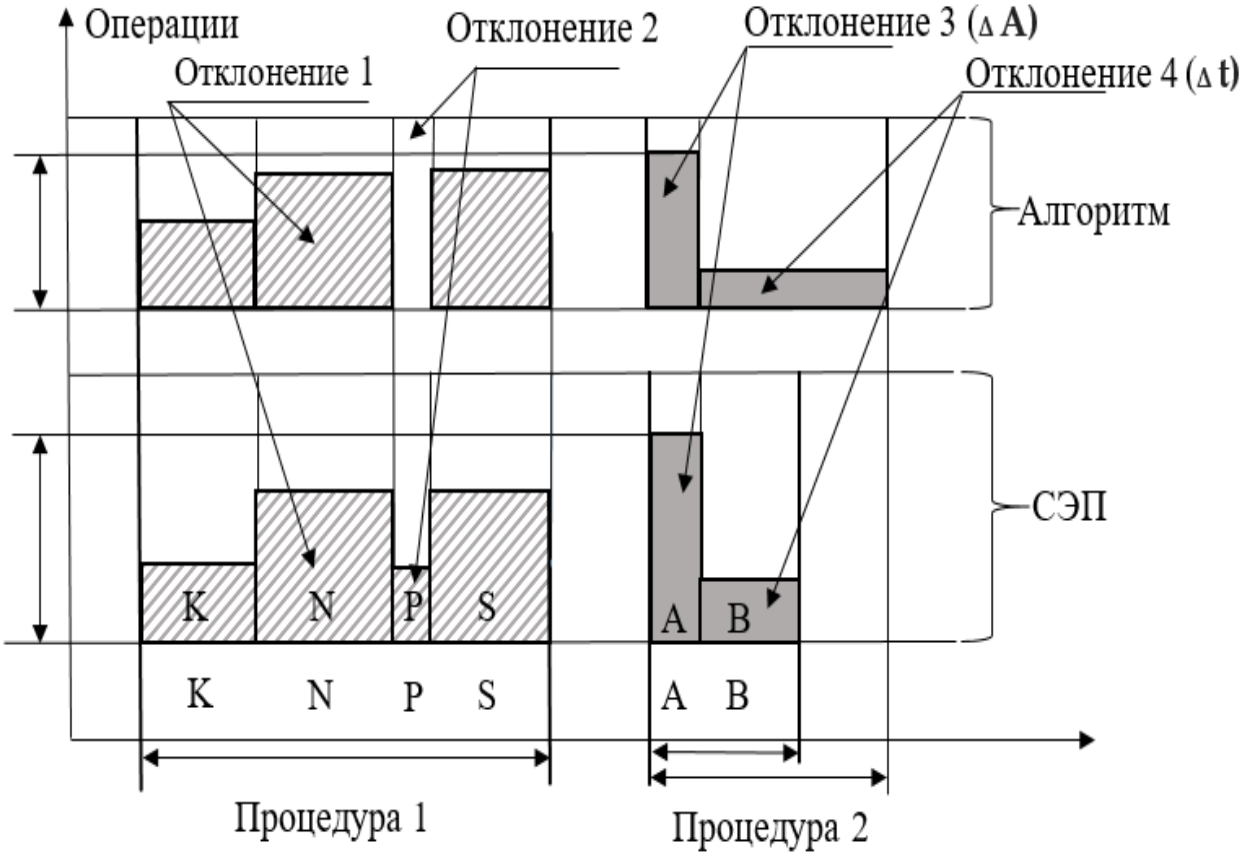


Рисунок 9 – Варианты отклонений алгоритма
профессиональной деятельности персонала от СЭП

Человеческий фактор исследуется как негативное воздействие на процедуры управления уровнем безопасности. Авиационный специалист в процессе производственной деятельности отрабатывает свой функционал, но, при этом, вольно или невольно, допускает некоторые

отклонения от алгоритма его реализации, которые могут привести к транспортному происшествию. Именно эта часть его профессиональной деятельности, которая названа несанкционированным вмешательством, представляет особый интерес с точки зрения безопасности.

Угроза персонала далеко не всегда потенциальное событие, достаточно часто эти угрозы реализуются, проявляясь как некоторые негативные результаты деятельности авиационного специалиста, что в пределе может быть АНВ и даже террористическим актом. Угрозы персонала реализуются в форме несанкционированного вмешательства в процедуры обеспечения транспортной безопасности, т.е. персонал совершает некоторые действия, не предусмотренные его функциональными обязанностями и не включенные в его целевой функционал. Эти действия могут возникать в результате ошибок персонала или каких-то других причин, но в любом случае они приводят к отклонениям от определенной СЭП деятельности. Эти отклонения фиксируются и оцениваются в процессе мониторинга. В таком случае фактор негативного влияния персонала становится управляемым и возникает абсолютно новая ситуация, когда необходимо минимизировать не человеческий фактор как таковой, а ставится задача регулировать негативное влияние персонала.

Угрозы со стороны персонала, осуществляющего профессиональную деятельность по обеспечению транспортной безопасности, рассматриваются в составе общей совокупности угроз безопасности аэропорта, как один из типов угроз. В действительности это не совсем так. Угрозы персонала представляют собой некоторый побочный результат профессиональной деятельности специалиста по обеспечению транспортной безопасности.

Это означает, что выделить отдельную угрозу или как-то их классифицировать невозможно в принципе. По этой же причине нельзя исследовать угрозы персонала как потенциальные, т.е. нельзя для каждой угрозы заранее разработать аппарат противодействия. В этом главная трудность исследования угроз персонала, которая затрудняет использование математических моделей и других классических методов исследования.

Совокупность угроз персонала по своему составу весьма неоднородна и зависит от функционала конкретного специалиста. Значимость каждой угрозы необходимо взвесить и отразить в количественном эквиваленте. В таком случае необходимо иметь некоторое распределение угроз по топологии аэропорта.

Негативное влияние персонала на результаты выполнения процедур обеспечения транспортной безопасности проявляется как следствие совершения персоналом профессиональных ошибок. Минимизация негативного влияния связана, прежде всего, с «работой над ошибками», которая заключается в системном анализе функциональных характеристик ошибок, исследовании причин их появления, факторов, влияющих на эти причины, классификации и систематизации ошибок, разработке методов минимизации (Рисунок 10).

Ошибки (Ош1-ОшК) появляются в системе обеспечения транспортной безопасности (система защиты) в результате выполнения процедур по нейтрализации внешних угроз (Y_1-Y_n). Каждой ошибке ставится в соответствие причина ее появления. Таких причин может быть достаточно много. На этом этапе выявляются параметры ошибок и экспертным путем оценивается степень их негативного влияние на процессы обеспечения транспортной безопасности.

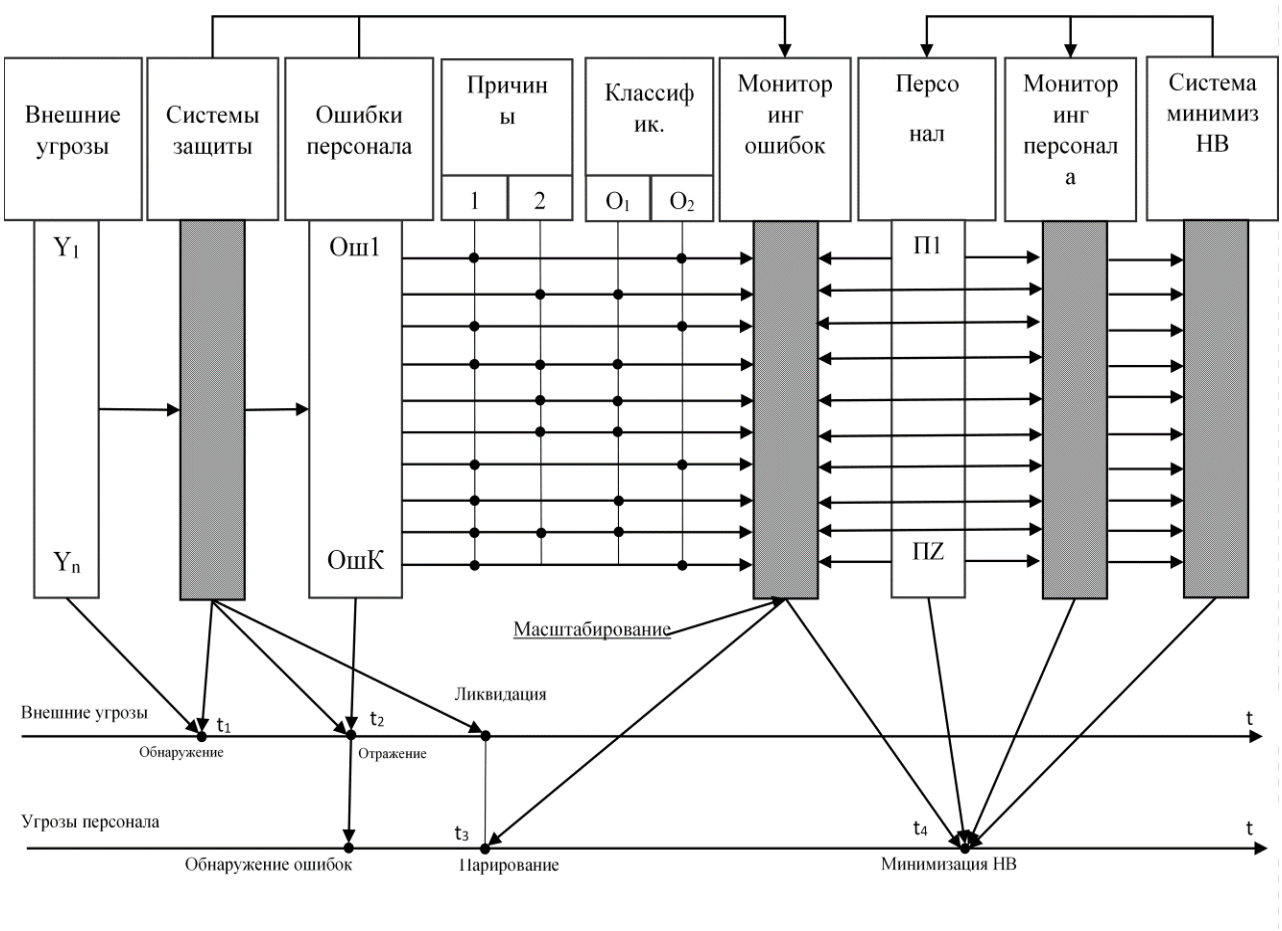


Рисунок 10 – К вопросу о профессиональных ошибках персонала

Причиной появления большинства ошибок является недостаточный уровень профессиональной готовности персонала. По основанию О1 формируется кластер ошибок, ликвидация которых принципиально возможна алгоритмически. Если это невозможно, такие ошибки формируют второй кластер, основанием для чего является О2 – некомпетентное воздействие. Мониторинг ошибок осуществляется по двум кластерам, при этом каждой ошибке ставится в соответствие специалист (П1-ПZ), допустивший эту ошибку. Каждая ошибка масштабируется в соответствии с результатами моделирования несанкционированного вмешательства. Следует уточнить, что сама по себе ошибка персонала – это еще не факт реализации некоторой угрозы, это факт изменения ситуации в системе защиты объекта, допускающий возможность совершения противоправных действий.

Задача оптимизации процедур профессиональной деятельности персонала в области транспортной безопасности состоит в разработке системы минимизации негативного влияния (СМНВП), которая должна осуществлять функции по мониторингу, обнаружению, идентификации, анализу ошибок персонала и принимать соответствующие решения по парированию и локализации ошибок. Парировать понимается как перевести процесс выполнения соответствующей процедуры в штатную ситуацию, а локализовать означает не допустить негативного развития событий.

СМВНП функционально в значительной степени зависит от операций, выполняемых для решения задач обеспечения транспортной безопасности, поскольку исходной информацией для

СМВНП являются ошибки персонала, которые, возникают при выполнении персоналом АБ этих процедур. В качестве базовой выбрана отечественная интегрированная система обеспечения транспортной безопасности Electronica Security Manager (ESM). На любом этапе взаимодействия персонала с ESM в диалоге возникают ошибки, которые фиксируются и передаются в СМНВП. Мониторинг ошибок основан на постоянном отслеживании отклонений от СЭП и алгоритмов СМНВП, обнаружении ошибок, их идентификации и анализе. Система включает режим парирования ошибок и, если результат не обеспечивает приемлемый уровень безопасности, включается режим локализации ошибок, который окончательно решает задачу минимизации негативного влияния персонала (Рисунок 11).

Рисунок 11 – Функциональная модель системы минимизации несанкционированного вмешательства персонала (СМНВП)

В СМВНП решается задача, принципиально отличающаяся от задачи минимизации человеческого фактора. Минимизация ЧФ состоит в постепенном свертывании отдельных функций по обеспечению АБ человеческой компоненты и возложении этих функций на техническую компоненту. Минимизация несанкционированного вмешательства персонала не связана с объемом участия человека в процессе, а представляет собой автоматизированную процедуру управления уровнем этого вмешательства с использованием нейросетевой классификации.

Для этих целей разработан вариант нейронной сети в системе MATLAB R2019b с использованием инструмента визуального программирования Neural Network Pattern Recognition App пакета Deep Learning Toolbox. Пакет удобен для построения и исследования нейронной сети на множестве обучающих примеров, но не позволяет оценивать уровень готовности отдельного сотрудника. Альтернативным подходом является разработка автономного приложения на языке C++.

Программа «Neuronet» предназначена для обучения нейронной сети на множестве примеров и выполняет следующие функции: загрузка обучающей выборки, расположенной в текстовом файле; обучение нейронной сети на наборе примеров; сохранение в файле весовых коэффициентов обученной сети.

Для оценки работоспособности нейронной сети, реализованной в программе Neuronet, и выбора оптимального порога (точки) отсечения исследовалась нейронная сеть следующей конфигурации: входной слой, содержащий 26 нейронов, скрытый слой, содержащий 10 нейронов и выходной слой, включающий один нейрон. Сеть обучалась методом градиентного спуска с использованием алгоритма обратного распространения ошибки до достижения средней квадратической ошибки - 0.0001 при различных порогах отсечения.

Программа «Neurotest» разработана для оценки компетенций и требований персонала к выполнению задач профессиональной деятельности с помощью предварительно обученной нейронной сети. Программа выполняет следующие функции: определение оценки готовности персонала транспортной безопасности к выполнению задач профессиональной деятельности; сохранение информации о выставленных баллах по требованиям компетенций специалиста и его оценки готовности; просмотр ранее сохранённых данных об оценивании персонала. Исследование системы проводилось с использованием выборочных примеров (40%). Получены результаты, обеспечивающие высокое качество работы программы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработаны теоретические и методологические положения, совокупность которых можно квалифицировать как новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Получены следующие новые научные результаты:

1. В работе решена научная проблема повышения эффективности управления транспортной (авиационной) безопасностью аэропорта. Проблема состоит в методологических ограничениях на возможности управления, обусловленные принципами теории управления организационными структурами (менеджмент), на основе которых построены действующие системы обеспечения транспортной безопасности. Решение предполагает научное обоснование, разработку и реализацию корректного перехода от концепции обеспечения безопасности к концепции эффективного управления в терминах теории оптимального управления.
2. Разработаны: гипотеза исследования, предполагающая решение проблем на основе методологии информационного управления безопасностью с применением современных технологий; принципы интеллектуального управления транспортной безопасностью, основанные на оптимальном, ситуационном и адаптивном подходах к управлению; концепция информационного управления транспортной безопасностью, основанная на

методах системотехники, теории оптимального управления, теории краевых задач и квалиметрии, системообразующем понятием которой является понятие «информационно – управляющее пространство», рассматриваемое как некоторый интерфейс между противоборствующими пространствами (угроз и защиты), что обеспечивает адекватное соответствие модели информационно-управляющего пространства и приемлемого уровня транспортной безопасности аэропорта.

3. Разработан алгоритм формирования структуры информационно-управляющего пространства (ИУП), включающий несколько принципиально важных комплексных этапов: разработка виртуальной модели ИУП, разработка структурно-логической модели ИУП, разработка функциональных моделей системы мониторинга и системы обработки, разработка системной модели формализации и алгоритмизации процессов безопасности, разработка ситуативной модели управления, реализация которых создает основу теории и практики информационного управления транспортной безопасностью.

4. Разработанная структура информационно-управляющего пространства представлена на трех уровнях: доменный уровень отражает основные направления и функциональные границы информационных массивов, однородных по смысловому содержанию; кластерный уровень формирующий предметные области математического моделирования, однородные с точки зрения методологии и различающиеся по функциональным признакам; функциональный уровень (матричная структура), включающий структурированную совокупность процедурных решений по управлению транспортной безопасностью, что упрощает процедуры моделирования и оптимизирует процессы алгоритмизации информационного управления.

5. Оптимизация процедур управления транспортной безопасностью предполагается как процесс достижение приемлемого уровня этой безопасности, с использованием в качестве критерия оптимальности уязвимость. Модель уязвимости включает количественные оценки угроз, полученные в результате численного моделирования процесса их распространения в формате дифференциальных уравнений в частных производных (стационарная задача) и пространства уязвимостей (нестационарная задача).

6. Процедуры перехода от угроз к уязвимостям и от уязвимостей к угрозам реализуются на основе квалиметрического подхода, где количественные значения определяют и отражают степень соответствия параметров угроз (уязвимостей) заданным требованиям к критическим элементам системы защиты объекта с учетом масштабирования. Численное моделирование предполагает различные варианты распределения угроз или типов уравнений, что определяет статистический подход к формированию окончательного решения, включая эвристические процедуры. Результаты численного моделирования получены в относительных единицах опасности (безопасности), не привязанных к реальным параметрам угроз и не связанных с моделью нарушителя, что позволило решить методологические и процедурные вопросы, сохранив при этом достоверность и адекватность используемых моделей.

7. В работе впервые исследованы возможности применения принципов искусственного интеллекта в задачах управления транспортной безопасностью аэропорта. Для ранжирования аэропортов по степени соответствия требованиям безопасности разработана нейросетевая модель на основе инструмента визуального программирования

Neural Network Pattern Recognition Tool пакета Deep Learning Toolbox системы MATLAB, обеспечившая следующее качество работы классификатора: Precision – 1.0, Recall – 0.9, Specificity – 0.83, F-score – 0.95.

8. Исследованы факторы несанкционированного вмешательства персонала транспортной безопасности аэропорта в процедуры обеспечения безопасности в процессе своей профессиональной деятельности. Негативное влияние персонала рассматривается как угроза безопасности, идентифицируется в совокупности внешних и внутренних угроз, встраивается в структуру универсальных моделей безопасности с использованием эвристических алгоритмов.
9. Установлена причина появления угрозы безопасности аэропорта со стороны персонала, квалифицируемая как несанкционированное вмешательство, в основе чего лежит ошибка, т.е. неадекватность содержания процедур и параметров деятельности персонала параметрам ситуации в объекте защиты, что проявляется в отклонениях параметров алгоритма деятельности персонала от параметров стандартных эксплуатационных процедур безопасности. Разработана методология минимизации негативного влияния персонала на производственную деятельность, основанная на понятиях индекс ошибки и инцидент. В результате функционального и структурно-логического анализа на этой основе разработаны модели оптимизации процедур минимизации негативного влияния персонала.
10. Решена задача классификации персонала транспортной безопасности с точки зрения его готовности исполнять свои профессиональные функции в соответствии с требованиями транспортной безопасности. Задача решена в нейросетевом базисе путем создания нейроклассификатора, с использованием инструментов MATLAB, и автономного классификатора, включающего два программных комплекса Neuronet и Neurotest.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Научные статьи, опубликованные
в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. Овченков Н.И. Оценка достоверности обнаружения негативных событий как динамическая процедура в многофункциональной технологической платформе «программный комплекс ЕСМ» / Л. Н. Елисов, Н. И. Овченков // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2015. – № 218(8). – С. 29-33.

2. Овченков Н.И. Авиационная безопасность как объект математического моделирования / Л. Н. Елисов, Н. И. Овченков // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 13-20.

3. Овченков, Н.И. Оценка уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств в гражданской авиации / Н. И. Овченков, Л. Н. Елисов // Научный вестник

Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2014. – № 204. – С. 65-68.

4. Овченков, Н.И. О некоторых классах оптимизационных задач, решаемых с применением неформальных методов / Л. Н. Елисов, С. В. Громов, Н. И. Овченков // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2012. – № 186 – с.130-134.

5. Овченков Н.И. К вопросу структурного моделирования субъектов транспортной безопасности / Л. Н. Елисов, Н. И. Овченков // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2013. – № 197. – С. 58-62.

6. Овченков Н.И. Интегральная безопасность воздушного транспорта / Л. Н. Елисов, Н. И. Овченков // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2017. – Т. 20, № 6. – С. 36-43.

7. Овченков Н.И. Некоторые вопросы сеточного и нейросетевого моделирования задач управления авиационной безопасностью аэропорта / Л. Н. Елисов, Н. И. Овченков // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2017. – Т. 20, № 3. – С. 21–29.

8. Овченков Н.И. Некоторые проблемы автоматизации процедур управления авиационной безопасностью аэропорта / В. Л. Филиппов, Н. И. Овченков // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2018. – № 24. – С. 66-74.

9. Овченков Н.И. Численная реализация эвристической модели угроз безопасности объекта гражданской авиации / Л. Н. Елисов, Н. И. Овченков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2018. – №1(18). – С. 42-57.

10. К вопросу о теории авиационной безопасности / Л. Н. Елисов, В. Л. Филиппов, Н. И. Овченков, С. М. Мусин // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2019. – № 27. – С. 109-119.

11. Системный подход и человеческий фактор в орнитологической безопасности аэропорта / Л. Н. Елисов, Н. И. Овченков, В. Л. Филиппов [и др.] / Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2019. – № 29. – С. 99-106.

12. Овченков Н.И. О решении плохо формализуемых и слабо структурированных задач в области авиационной безопасности / В. Л. Филиппов, Н. И. Овченков // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2019. – № 1(22). – С. 42-54.

13. Овченков Н. И. Проблема человеческого фактора в области авиационной безопасности и некоторые подходы к ее решению / Н. И. Овченков, Д. В. Аверин // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2020. – № 30. – С. 107-116.

14. Овченков Н.И. Концепция, модели и методы управления авиационной безопасностью по критерию человеческий фактор / Д. В. Аверин, Н. И. Овченков // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2020. – № 31. – С. 108-118.

В научных изданиях, индексируемых международными базами данных

15. Ovchenkov N. The Paradoxes of Aviation Security and Some Approaches to their Formal Description / Elisov, L., Ovchenkov, N., Gorbachenko, V., Transportation Research Procedia, 2021, 54, pp. 726–732.

16. Ovchenkov N.I. A security system event log analysis / Chalyy, D.Ju., Ovchenkov, N.I., Lazareva, E.G., Yaikov, R.R., CEUR Workshop Proceedings, 2018, 2268, pp. 141–146.

17. Ovchenkov N.I. Social Aspects in the Structure of Civil Aviation Transport Security / Ovchenkov, N.I., Elisov, L.N., Guberman, I.B., Lecture Notes in Networks and Systems, 2023, 234, SpringerLink, pp. 551–559.

18. Ovchenkov, N.I. Neural network classification of aviation personnel as an element of the information and control space for the security of a transport infrastructure object / Elisov, L.N., Ovchenkov, N.I., Gorbachenko, V.I., Abramov, I.A., Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1679(3), 032019.

В других изданиях

1. Овченков Н.И. Об особенностях применения отечественных программных продуктов для обеспечения транспортной безопасности. // Транспортная безопасность и технологии. – 2016. – №1(44). – С. 38-39.

2. Овченков Н.И. PSIM: фундаментальный принцип безопасности промышленных объектов. // Алгоритм безопасности. – 2016. – № 4. – С.70-73.

3. Овченков Н.И. Некоторые проблемы обеспечения авиационной безопасности аэропорта и их решение / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченков // «XXIV international scientific and technical conference Trans 16 MOTAUTO. Proceedings. – Bulgaria, Sofia, 2016. – vol 2. – pp. 73-74.

4. Овченков Н.И. Введение в теорию авиационной безопасности / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченков, Р.С. Фадеев. – Ярославль: ООО «Филигрань», 2016. – 320 с.

5. Technical aspects of automation of transport security / Yelisov, L.N., Ovchenkov, N.I. // International scientific journal «Trans and motauto world», ISSN PRINT 2367-8399, ISSN WEB 2534-8493, YEAR II, ISSUE 2, SOFIA, BULGARIA, 2017. – pp. 64-68.

6. Elements of theory to solve the problem of management of transport safety / Yelisov, L.N., Ovchenkov, N.I. // International scientific journal «SECURITY AND FUTURE», ISSN PRINT 2535-0668, ISSN (ONLINE) 2535-082X, YEAR I, ISSUE 3, SOFIA, BULGARIA, 2017. – pp. 98-101.

7. Овченков Н.И. Статистическое прогнозирование уровня профессиональной подготовки авиационного персонала при решении задачи обеспечения авиационной безопасности аэропорта / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченков // VI international scientific and technical conference «Engineering, technologies, education, security», PROCEEDINGS, VOLUME 1, ISSN PRINT 2535-0315, ISSN ONLINE 2535-0323, YEAR II, ISSUE 1 (4), SOFIA, BULGARIA, 2018. – pp. 72-76.

8. Овченков Н.И. К вопросу о физическом моделировании пространства угроз безопасности аэропорта / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченков // Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», материалы конференции. – Москва: МГТУГА, 2018. – С. 140-141.

9. Овченков Н.И. Комбинированные модели для решения задач идентификации безопасности аэропорта / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченков // Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», материалы конференции. – Москва: МГТУГА, 2018. – С. 86.

10. Овченков Н.И. Гибридные методы моделирования объектов с распределенными параметрами / О.Л. Вензель, Н.И. Овченков // Международная научно-техническая конференция «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества», материалы конференции. – Москва: МГТУГА, 2018. – С.85

11. Ovchenkov N.I. Qualimetric forecasting of aviation personnel professional development level while solving airport aviation security provision issues // «XXVI international scientific and technical conference Trans and MOTAUTO - 18». Proceedings, vol. 2, ISSN PRINT 1313-5031, ISSN WEB 2535-0307, YEAR I, ISSUE 2 (4), SOFIA, BULGARIA, 2018. – pp. 105-108.

12. Ovchenkov N.I. Information support for decision-making while forecasting aviation personnel professional development level // «XXVI international scientific and technical conference Trans and MOTAUTO – 18». Proceedings, vol. 2, ISSN PRINT 1313-5031, ISSN WEB 2535-0307, YEAR I, ISSUE 2 (4), SOFIA, BULGARIA, 2018. – pp. 163-168.

13. On one approach to solving the problem of formalization and modeling of the airport security threats space / Yelisov, L.N., Ovchenkov, N.I. // International scientific journal «SECURITY AND FUTURE», ISSNPRINT 2535 -0668, ISSN (ONLINE) 2535-082X, YEAR I, Vol.2 (2018), ISSUE 4. – pp. 152-157.

14. Ovchenkov N.I. Problems of aviation personel's professional development while solving issues of airport security threats parryings / Ovchenkov, N.I., Yelisov, L.N. // VI international scientific and technical conference «Engineering, technologies, education, security», PROCEEDINGS, VOLUME 1, ISSN PRINT 2535-0315, ISSN ONLINE 2535-0323, YEAR II, ISSUE 1 (4), SOFIA, BULGARIA, 2018. – pp. 5-11.

15. A new approach to assessing the human factor in the automated system of control of aviation security of the airport / Filippov, V.L., L.N. Elisov, L.N., Ovchenkov, N.I. // International scientific journal «Security and Future», ISSN (PRINT) 2535-0668, ISSN (ONLINE) 2535-082X, YEAR III, ISSUE 2/2019, Bulgaria, Sofia, 2019. – pp. 41-43.

16. Harmonization of the human factor in integrated aviation security system / Filippov, V.L., Ovchenkov, N.I. // VII international scientific conference «Engineering, technologies, education, security 2019», PROCEEDINGS, VOLUME III, ISSN PRINT 2535-0315, ISSN ONLINE 2535-0323, YEAR III, ISSUE 3(9), SOFIA, BULGARIA, 2019. – pp. 228-231.

17. Security threat propagation model civil aviation facility / Filippov, V.L., Elisov, L.N. Ovchenkov N.I. // III International scientific conference «CONFSEC», PROCEEDINGS, ISSN PRINT 2603-2945, ISSN ONLINE 2603-2953, YEAR 3, ISSUE 1(5), 2019, SOFIA, BULGARIA – pp. 13-15.

18. Нейросетевая классификация авиационного персонала как элемент информационно-управляющего пространства безопасности объекта транспортной инфраструктуры / Л.Н. Елисов, Н.И. Овченков, В.И. Горбаченко, И.А. Абрамов // Нейроинформатика, ее приложения и анализ данных, XXVIII Всероссийский семинар: материалы. – Красноярск: Институт вычислительного моделирования СО РАН, 2020. – С. 66-73.

19. Ovchenkov N.I. Model of airport vulnerability in civil aviation / Ovchenkov, N.I., Fadeev, R.S. // International scientific journal «Security and Future», ISSN PRINT 2535-0668, ISSN ONLINE 2535-082X, YEAR IV, ISSUE 1/2020, SOFIA, BULGARIA. – pp. 3-5.

20. Certain issues to minimize the human factor impact in transportation security / Averin, D.V., Ovchenkov, N.I. // «XXVIII international scientific conference Trans and Motauto 2020», Proceedings, ISSN PRINT 1313-5031, ISSN WEB 2535-0307, YEAR IV, ISSUE 1(7), VARNA, BULGARIA, 2020. – pp. 5-8.