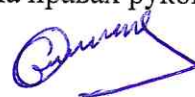


На правах рукописи



ОБРАЗЦОВ РОМАН АЛЕКСАНДРОВИЧ

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ В ОРГАНИЗАЦИЯХ ПО ОВД**

**Специальность 2.9.6 - «Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники»
(технические науки)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва - 2025 г.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении Высшего образования «Московский государственный технический университет гражданской авиации» (МГТУ ГА).

Научный руководитель:

Шаров Валерий Дмитриевич,

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Безопасности полётов и жизнедеятельности» ФГБОУ ВО МГТУ ГА.

Официальные оппоненты:

Бачкало Борис Иванович,

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил» Министерства обороны Российской Федерации.

Толстых Сергей Александрович,

кандидат технических наук, главный специалист Департамента эксплуатационно-технической документации НИО разработка эксплуатационной документации и технического обслуживания Конструкторского бюро Суперджета.

Ведущая организация:

Федеральное государственное унитарное
Предприятие «Государственный научно-исследовательский институт гражданской авиации» (ФГУП ГосНИИ ГА),
г. Москва.

Защита состоится «26» марта 2025 на заседании диссертационного совета 42.2.001.01 при Московском государственном техническом университете гражданской авиации по адресу: 125493, г. Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте www.mstuca.ru.

Автореферат разослан "18" Апреля 2025 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета 42.2.001.01
доктор технических наук, профессор

В.М. Самойленко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. Обслуживание воздушного движения (ОВД) или аэронавигационное обслуживание (АНО) является важнейшим элементом функционирования авиационно-транспортной системы и обеспечения безопасности полетов (БП).

По информации Росавиации относительное число нарушений норм эшелонирования на 1 млн. часов налета в 2021 г составляло 11,2 в 2022 г — 10,0, что показывает очевидное ухудшение по сравнению со средним показателем 5,5 за 2016-2020 гг. Количество нарушений правил использования воздушного пространства за последние 7 лет в РФ стабильно составляет от 250 до 320 в год и тенденции к уменьшению этого количества не видно.

Очевидным путем повышения уровня БП в области ОВД является внедрение более совершенных систем управления безопасностью полетов (СУБП) организаций по ОВД. В соответствии с известным тезисом о том, что управлять можно тем, что можно измерить, возникает важная задача по оценке эффективности СУБП, функционирующей в организации по ОВД. Понятие «эффективность системы управления» в разных областях деятельности трактуется по-разному. В данном случае эффективность СУБП понимается как её состоятельность, результативность, или в более общем смысле, как «отношение результата к целям». Именно в таком смысле понятие «эффективность» используется в Стандарте ИКАО Приложения 19, когда говорится об «эффективности обеспечения БП». Прежде всего, это общая оценка влияния функционирующей СУБП на состояние БП в организации по ОВД (ее полезность), а также уровень совершенства, зрелости системы и соответствия предъявляемым к ней требованиям.

Можно выделить три подхода к разработке методики оценки эффективности СУБП:

- оценка уровня соответствия СУБП нормативным требованиям ГА РФ, а также международным рекомендациям и передовым практикам;
- оценка полноты применения проактивных методов управления рисками для безопасности полетов;
- разработка и применение объективных показателей уровня БП, методов их мониторинга, установления целевых и пороговых уровней.

Обоснованная методика оценки эффективности СУБП в организациях по ОВД на сегодня не разработана. Применяемые методы и показатели БП при ОВД имеют очевидные недостатки и не позволяют объективно оценить, насколько полезна СУБП организации в части стимулирования работы по повышению уровня БП, проактивной оценке рисков, по внедрению передовых методов и практик.

Превалирует формализм при оценке уровня внедрения требований нормативных документов, используются показатели БП, учитывающие только АС. Риск-ориентированный подход при проверках не работает в полной мере.

Таким образом, актуальность темы исследования определяется наличием нерешенной научной задачи по разработке методов оценки эффективности СУБП организации по ОВД.

Степень разработанности темы исследования.

Решение данной задачи тесно связано с вопросами обеспечения БП при ОВД, с оценкой рисков АНО и формированием показателей и целевых уровней безопасности при ОВД, которым посвящены работы таких ученых как С.Л. Белгородский, П.В. Олянюк, Ю.Н. Сарайский, В.А. Уманский, В.А. Русол, А.В. Липин, Е.Е. Нечаев, Л.К. Щербаков, Д.В. Бобылев, В.Г. Шелковников, В.Н. Нартов, В.Н. Нечаев.

Общим вопросам разработки СУБП и оценки рисков посвящены работы Е.Ю. Барзиловича, Б.И. Бачкало, В.В. Воробьева, А.Г. Гузия, Г.Н. Гипича, Б.В. Зубкова, Г.В. Коваленко, Е.А. Куклева, В.Д. Шарова, А.М. Лушкина, Г.Н. Матвеева, Н.И. Плотникова, В.М. Рухлинского, С.А. Толстых и др.

Цель диссертационного исследования: решение научной задачи разработки методов оценки эффективности СУБП организации по ОВД в целях совершенствования ее работы для повышения уровня БП при АНО.

Объект исследования: организация по ОВД, предоставляющая услуги по аэронавигационному обеспечению полетов (АНО).

Предмет исследования: методы оценки эффективности СУБП при проведении проверки и самообследования, а также посредством мониторинга показателя БП в рамках СУБП организации по ОВД.

Поставленная цель в настоящей работе достигается путем решения основных промежуточных задач:

1. Анализ нормативной базы и практики проверок СУБП в организациях по ОВД с учетом современного риск - ориентированного подхода к контрольно-надзорной деятельности.

2. Разработка нового метода оценки СУБП и коэффициента эффективности СУБП организации по ОВД по результатам проверок и самообследования.

3. Разработка метода формирования перечня индикаторов риска, используемых при проведении проверки организации по ОВД, и метода проактивной оценки рисков организации с использованием адаптивной нейро-нечеткой модели.

4. Разработка сбалансированного показателя БП, методов его мониторинга и краткосрочного прогнозирования уровня БП как ключевого элемента оперативного контроллинга в организации по ОВД.

Научная новизна работы состоит в том, что в ней:

- разработан метод проверки СУБП организации по ОВД, который в отличие от существующих, учитывает внедрение не только требований РФ, но и SARPs ИКАО, а также рекомендаций международных организаций, позволяет количественно оценить уровень эффективности и мотивирует организацию по ОВД на использование передовых практик управления БП;

- впервые в практике управления БП предложена методика использования адаптивной нейро-нечеткой модели, как внедрение элементов искусственного интеллекта, для проактивной оценки рисков для БП на основе выявленных при проверке или самообследовании организации по ОВД проявлений индикаторов риска с учетом степени серьезности этих проявлений;

- разработан новый показатель уровня БП при АНО, который учитывает серьезность авиационных событий, а также менее значимых событий (фактов), влияющих на БП, не учитываемых в показателях, применяемых в настоящее время в организациях по ОВД. Предложенные варианты его мониторинга и краткосрочного прогнозирования уровня БП рассматриваются как элементы оперативного контроллинга авиапредприятия.

Практическая значимость работы. При выполнении работы получены теоретические положения и алгоритмы, которые легли в основу конкретных методов. Для проведения проверки и самообследования организации по ОВД разработаны контрольные вопросы проверки и рекомендации аудитору, а также алгоритм расчета коэффициента эффективности СУБП.

Разработана методика выбора индикаторов риска с помощью экспертного оценивания, формирования обучающей выборки и построения адаптивной нейро-нечеткой модели в программной среде Matlab.

Разработаны критерии категорирования событий, учитываемых при расчете показателя уровня БП, методы мониторинга и прогнозирования до уровня практического применения.

Методы исследования. В работе применяется теория вероятностей, математическая статистика, элементы теории нечетких множеств и нейронных сетей, методы исследования операций и экспертных оценок.

На защиту выносятся:

1. Метод проведения проверки (самообследования) СУБП организации по ОВД с использованием разработанного перечня контрольных вопросов.

2. Метод расчета коэффициента эффективности СУБП.

3. Метод оценки риска организации по ОВД на основе отмеченных при проверке или самообследовании проявлений индикаторов риска с использованием адаптивной нейро-нечеткой модели.

4. Метод расчета сбалансированного показателя уровня БП организации по ОВД, методы его мониторинга и краткосрочного прогнозирования в качестве элементов оперативного контроллинга организации по ОВД.

Достоверность и обоснованность результатов обеспечена тем, что в работе применялись известные вероятностные и статистические методы, практические приложения теории нечетких множеств и нейросетей, опробованные методы проведения экспертных опросов и обработки их результатов с помощью сертифицированных программ.

Апробация результатов исследования.

Промежуточные результаты исследования, докладывались на научных и практических семинарах и конференциях:

1. Международная научно-техническая конференция, посвященная 50-летию МГТУ ГА, Москва 25–26.05 2021 г.

2. IX Евразийская международная конференция и выставка Беспилотная авиация — 2022, Москва, 21-22.04 2022 г.

3. Международная научно-техническая конференция, посвященная 100-летию отечественной гражданской авиации, Москва 18-19.05 2023 г.

4. XII всероссийская научно-практическая конференция «Гражданская авиация: прошлое, настоящее, будущее», посвященная празднованию 100-летия гражданской авиации России, Ростов-на-Дону 20 октября 2023 г.

5. Всероссийская научно - практическая конференция «Цифровые технологии в авиации. Теория, практика, история». Академия наук авиации и воздухоплавания. Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова, Москва 24.10.2023 г.

Результаты исследования использованы при проведении контрольно-надзорных мероприятий Росавиацией и Ространснадзором, включены в материалы курса «Системы управления безопасностью полетов поставщиков услуг» Института повышения квалификации МГТУ ГА, что подтверждается актами внедрения.

Публикации результатов исследования. По теме работы опубликовано 11 статей (80 стр.), из их числа 3 статьи (36 стр.) в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук.

Личный вклад автора. Лично автором, либо при его непосредственном участии получены все основные результаты диссертационной работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, перечня сокращений. Общий объем работы составляет 165 страниц текста. Диссертация содержит 36 таблиц, 29 рисунков, список используемых источников из 119 наименований и имеет 7 приложений на 133 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены общие сведения о диссертации, обоснована актуальность темы исследования, поставлены цели и задачи, определены объект и предмет исследования, изложены методы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимости, указаны положения, выносимые на защиту, изложена степень достоверности и апробации результатов, а также структура и объем работы.

В первой главе выполнен анализ нормативной базы и практики проверок организаций по ОВД. Рассмотрены принципы риск-ориентированного подхода и его реализации в ГА, особенности управления БП, практика проведения контрольно-надзорных мероприятий в организациях по ОВД.

Единая система организации воздушного движения (ЕС ОРВД) осуществляет функции в пределах воздушного пространства РФ и в соответствии с международными договорами. Росавиация является руководящим органом ЕС, а органы обслуживания воздушного движения подчиняются Госкорпорации по ОРВД. Главный центр ЕС занимается планированием и координацией использования воздушного пространства, организацией потоков воздушного

движения, контролирует функционирование оперативных органов. Зональные центры в России отвечают за планирование использования воздушного пространства в конкретной зоне и контроль за функционированием.

Как показал анализ, в положениях воздушного законодательства РФ Стандарты и рекомендуемая практика (SARPs) Международной организации гражданской авиации (ИКАО), внедрены не в полном объеме. Не реализованы полностью принципы навигации на основе характеристик, ограниченно функционирует система зависимого наблюдения (ADS-B), зоны действия наземных средств навигации не обеспечивают достаточное покрытие территории страны.

Отмечены недостатки в СУБП Госкорпорации по ОРВД, которые более подробно рассмотрены в следующих главах диссертации. Кроме того, в России существуют организации по ОВД, имеющие сертификаты на АНО, но не входящие в Госкорпорацию по ОРВД. Как показали проверки, СУБП этих организаций функционируют неэффективно и требуют серьезных корректировок. Все это создает проблемы для обеспечения БП при АНО.

Принципы риск-ориентированного подхода при проверках различных организаций в РФ, установленные ФЗ-248, реализуются в ГА РФ на основе Постановления Правительства РФ № 1064 от 30.05.2021 г. (ПП-1064). Установлены 4 категории риска по принадлежности организации к группам тяжести и вероятности. Группа тяжести устанавливается для организации в зависимости от вида её деятельности, а группа вероятности – на основе характеристик имевших место в организации авиационных событий. На рис.1 приведена матрица риска объекта, сформированная в диссертации на основе положений ПП-1064.

		Группа вероятности			
		1	2	3	4
Группа тяжести	А	Высокий	Значительный	Средний	Средний
	Б	Высокий	Значительный	Средний	Средний
	В	Значительный	Значительный	Средний	Средний
	Г	Средний	Средний	Низкий	Низкий

Рисунок 1. Матрица категорий риска объектов контроля (надзора) ГА

Виды контроля и их периодичность зависят от категории риска. Деятельность по использованию воздушного пространства и обеспечению полетов относится к группе тяжести А, поэтому риск организации ОВД не может низким.

При принятии решения о внеплановом контроле разрабатываются индикаторы риска нарушения обязательных требований, но имеющаяся в настоящее время система индикаторов для организаций-поставщиков авиационных услуг фактически также основа на учете прошлых событий.

В диссертации выполнен анализ проведенных проверок в организациях ОВД. В период с 2017 по 2022 гг. было проведено 33 проверки, выявлено 287 нарушений воздушного законодательства. Подразделения Московского зонального центра провели 9 проверок и выявили 60 нарушений. Деятельность по управлению БП не выделена в отдельный вид, и количество нарушений требований по этому аспекту деятельности организации остается неизвестным.

В авиапредприятиях, где службы ОВД и эксплуатация радиотехнического обеспечения (ЭРТОС) не входят в Госкорпорацию, постоянно выявляется гораздо большее количество недостатков, чем в предприятиях Госкорпорации, в том числе, по использованию средств объективного контроля (СОК), в техническом оснащении, в подготовке кадров и др.

Действующие в настоящее время карты проверки организаций по ОВД в части СУБП недостаточно эффективны. Проверяется только соответствие требованиям РФ, причем

варианты ответов могут быть только "да" и "нет". Такая оценка не позволяет разобраться проверяющему в причинах несоответствия, не мотивирует организацию на внедрения SARPs ИКАО и на использование передовых мировых практик в области управления БП.

Таким образом, реализация риск-ориентированного подхода к контролю в части управления БП в организациях по ОВД в настоящее время имеет выраженный реагирующий характер, а оценка эффективности СУБП фактически не проводится.

Вторая глава диссертации посвящена разработке метода оценки эффективности СУБП организации по ОВД по результатам проверки деятельности и самообследования организации.

На основании анализа видов оценки эффективности СУБП, применяемых в международной практике, выделены два основных метода: организационно-структурный контроль и функциональный (процессный) контроль.

При использовании первого метода основной упор делается на выявление документальных признаков функционирования системы в организационной деятельности, таких как наличие плана внедрения/совершенствования СУБП, полнота руководства по СУБП (РУБП), четкое описание политики и целей, проработанность методик выявления факторов опасности (ФО), оценки и уменьшения рисков для БП, наличие программы подготовки кадров и средств обмена информации по СУБП.

При наличии данных признаков делается вывод о наличии СУБП в организационной структуре проверяемого поставщика услуг и ее соответствии требованиям.

Но организационно-структурного подхода недостаточно для оценки эффективности применения СУБП, поскольку СУБП – это управленческий инструмент системного упреждающего управления безопасностью. При проверке эффективности СУБП аудитору необходимо убедиться, что все компоненты системы реализованы и функционируют. Сбои в работе любого из этих компонентов свидетельствуют о том, что СУБП не может в полной мере выполнять свои функции. Целью функционального контроля эффективности СУБП является выявление и оценка процедурных признаков её функционирования, как динамической системы, выполняющей свои функции по сбору, обработке информации о БП, текущему контролю показателей, выбору и реализации управляющих воздействий и оценке эффективности управления.

В практике ФСНСТ при проведении проверки используются проверочные листы с вопросами. Перечень вопросов в целом характеризует СУБП, однако ограниченность вариантов ответов («да», «нет», «неприменимо») не позволяет оценить ее зрелость и эффективность. По ответам на вопросы СУБП может быть признана соответствующей требованиям ФАП-293 «Организация воздушного движения в РФ», но возможна ситуация, когда процедуры СУБП существуют только формально в документах авиапредприятия.

Другим видом проверки выполнения требований воздушного законодательства РФ, в том числе и требований к СУБП, является самообследование, для которого ФСНСТ разработаны методические рекомендации. Указано, что они разработаны для оказания методической помощи по вопросам проведения самообследования в рамках добровольного определения контролируемым органом обязательных требований в области ГА.

В 2019 г. в МГТУ ГА были разработаны Методические рекомендаций территориальным органам Росавиации по проверкам СУБП (МР) следующих поставщиков услуг: эксплуатантов, операторов аэродромов, учебных организаций и организаций по ТО). МР были утверждены заместителем руководителя Росавиации и применялись при проведении проверок.

Аналогичных МР рекомендаций для организаций по ОВД не существовало, и они были впервые разработаны в данной диссертации.

Проверка СУБП по разработанной в диссертации методике выполняется согласно перечню контрольных вопросов проверки (КВП) из 27 вопросов. Они основаны на различных нормативно - правовых актах и имеют соответствующий статус:

а) статус «Требование» имеют КВП, основанные на воздушном законодательстве РФ, выполнение которого является обязательным;

б) статус «Рекомендация» имеют КВП, основанные на SARPs ИКАО, РУБП ИКАО и других передовых международных практиках, выполнение которых не является обязательным, но учитывается при оценке эффективности СУБП.

Каждый КВП относится к конкретному элементу концептуальных рамок (структуре) СУБП ИКАО и имеет уникальный индекс, как показано на рис. 2.

1. Буква О указывает тип поставщика услуг - организация по ОВД.
2. Цифры 1.5 показывают, что данный КВП относится к элементу 1.5 концептуальных рамок (структуры) СУБП.

3. Цифра 2 указывает порядковый номер КВП, относящийся к данному элементу.

Выполнение требования или рекомендации оценивается по двум параметрам: «Документировано» и «Внедрено».

Положение требования или рекомендации считается полностью внедренным, если оно документировано, и поставщик услуг может подтвердить его выполнение в полном объеме с помощью документов, протоколов, отчетов по выполненным мероприятиям и т. д., а также продемонстрировать выполнение требуемой процедуры СУБП на реальном примере.

Положение требования или рекомендации считается внедренным, но требующим корректировки, если выполнение требования или рекомендации обеспечивается по оценке аудитора не менее, чем на 50%, при условии, что все требования (рекомендации) документированы.

Оценка соответствия требованию или рекомендации осуществляется по единому алгоритму в соответствии с таблицей 1.

Если СУБП признана соответствующей требованиям, рассчитывается коэффициент эффективности СУБП:

$$K_{\text{эфф}} = \frac{20N_{\text{ТП}} + 13N_{\text{ТК}}}{N_{\text{Т}}} + \frac{9N_{\text{СП}} + 7N_{\text{СК}}}{N_{\text{С}}} + \frac{6N_{\text{РП}} + 3N_{\text{РК}}}{N_{\text{Р}}}, \quad (1)$$

где:

$N_{\text{ТП}}$ – полные соответствия требованиям РФ;

$N_{\text{ТК}}$ – соответствия требованиям РФ с корректировкой;

$N_{\text{Т}}$ – оцениваемые требования РФ;

$N_{\text{СП}}$ – полные соответствия Стандартам ИКАО;

$N_{\text{СК}}$ – соответствия Стандартам ИКАО с корректировкой;

$N_{\text{С}}$ – оцениваемые соответствия Стандартам ИКАО;

$N_{\text{РП}}$ – полные соответствия рекомендациям;

$N_{\text{РК}}$ – соответствия рекомендациям с корректировкой;

$N_{\text{Р}}$ – оцениваемые соответствия рекомендациям;

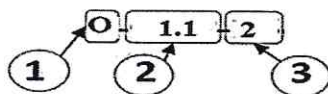


Рисунок 2. - Формирование индекса КВП организации по ОВД

1. Буква О указывает тип поставщика услуг - организация по ОВД.
2. Цифры (1.1) указывают элемент концептуальных рамок, по которому задается этот вопрос.
3. Цифра (2) указывает номер КВП, относящийся к данному элементу.

Таблица 1. Принципы оценки соответствия требованиям и рекомендациям.

Степень выполнения требования/рекомендации	Оценка соответствия
Документировано, внедрено	Соответствует
Документировано, внедрено частично, требует корректировки	Соответствует, требует корректировки
Документировано, не внедрено	Не соответствует
Внедрено, не документировано	Не соответствует
Не документировано, не внедрено	Не соответствует
Не проверялось	Не учитывается в оценке.

Весовые коэффициенты в формуле (1) получены на основе опроса экспертов с применением метода бальных оценок, который широко используется в квалиметрии. В качестве экспертов выступали 10 специалистов Росавиации, имеющие опыт проведения контрольно-надзорных мероприятий по проверкам СУБП, а также разработки СУБП в организациях ОВД.

Оценка проводилась по 10-ти бальной шкале, весовой коэффициент выполнения требования Воздушного законодательства РФ установлен по умолчанию $C_1=10$. Заполненные формы экспертного опроса приведены в Приложении А к диссертации. Бальная оценка каждого эксперта преобразуется в весовой коэффициент C_{ij} следующим образом:

$$C_{ij} = \frac{C_{ij}^B}{\sum_{j=1}^6 C_{ij}^B}, \quad (2)$$

где: C_{ij}^B - оценка j-го весового коэффициента в баллах, принятая i-м экспертом, $i = 1 \dots m, j = 1 \dots n, m = 10, n = 6$.

Для оценки согласованности мнений экспертов по каждому весовому коэффициенту рассчитывается коэффициент вариации β по формуле:

$$\beta(C_j) = \frac{\sigma(C_j)}{M(C_j)}, \quad (3)$$

где $\sigma(C_j)$ и $M(C_j)$ - среднеквадратическое отклонение и среднее значение j-го весового коэффициента, которые рассчитываются по обычным формулам:

$$M(C_j) = \frac{\sum_{i=1}^m C_{ij}}{m}; \quad \sigma(C_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m [M(C_j) - C_{ij}]^2}{m-1}}. \quad (4)$$

Результаты экспертного опроса и расчетов по формуле (2 - 4) сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты экспертного опроса весовых коэффициентов

Эксперты	Весовые коэффициенты												Сумма баллов
	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅		C ₆		
	балл	вес	бал л	вес	балл	вес	балл	вес	балл	вес	бал л	вес	
1	10	0,34	6	0,21	4	0,14	4	0,14	3	0,10	2	0,07	29
2	10	0,37	7	0,26	4	0,15	3	0,11	2	0,07	1	0,04	27
3	10	0,34	7	0,24	4	0,14	4	0,14	3	0,10	1	0,03	29
4	10	0,32	7	0,23	5	0,16	4	0,13	3	0,10	2	0,06	31
5	10	0,33	7	0,23	5	0,17	3	0,10	3	0,10	2	0,07	30
6	10	0,40	5	0,20	4	0,16	3	0,12	2	0,08	1	0,04	25
7	10	0,34	6	0,21	5	0,17	3	0,10	3	0,10	2	0,07	29
8	10	0,33	6	0,20	5	0,17	4	0,13	3	0,10	2	0,07	30
9	10	0,33	6	0,20	5	0,17	4	0,13	3	0,10	2	0,07	30
10	10	0,33	6	0,20	5	0,17	4	0,13	3	0,10	2	0,07	30
$M(C_j)$		0,35		0,22		0,16		0,12		0,10		0,06	
$\sigma(C_j)$		0,02		0,02		0,01		0,01		0,01		0,01	
$\beta(C_j)$		0,07		0,10		0,08		0,12		0,11		0,25	

Значения β по всем коэффициентам, кроме C_6 , удовлетворяют требованию хорошей согласованности, коэффициент для C_6 , - требованию удовлетворительной согласованности.

Согласованность мнений оценивалась и методом с использованием статистического критерия χ^2 («хи — квадрат»), который подтвердил хорошую согласованность.

Для единообразия с формулой расчета Кэфф в упомянутых выше МР значение максимального веса полного внедрения требования было увеличено вдвое $C_1=20$. Тогда остальные весовые коэффициенты C_j могут быть рассчитаны по очевидному соотношению:

$$C_j = \frac{20M(C_j)}{M(C_1)}, \quad (5)$$

где $M(C_j)$ - средние значения веса j -го коэффициента (табл. 2);

$M(C_1) = 0,35$ - среднее значение веса коэффициента C_1

Весовые коэффициенты, полученные по формуле (5) и представлены в формуле (1)

Оценка эффективности (расчет Кэфф) имеет смысл только если организация соответствует всем требованиям РФ (в полном объеме или с корректировкой (частично)). При различных сочетаниях полного соответствия требованиям рекомендациям, и соответствию с корректировкой при расчете по формуле (1) может быть получено большое количество разных вариантов значений. На рис. 3 представлены результаты расчета коэффициентов для некоторых сочетаний полного и частичного внедрения требований РФ и рекомендаций на основе Стандартов ИКАО.

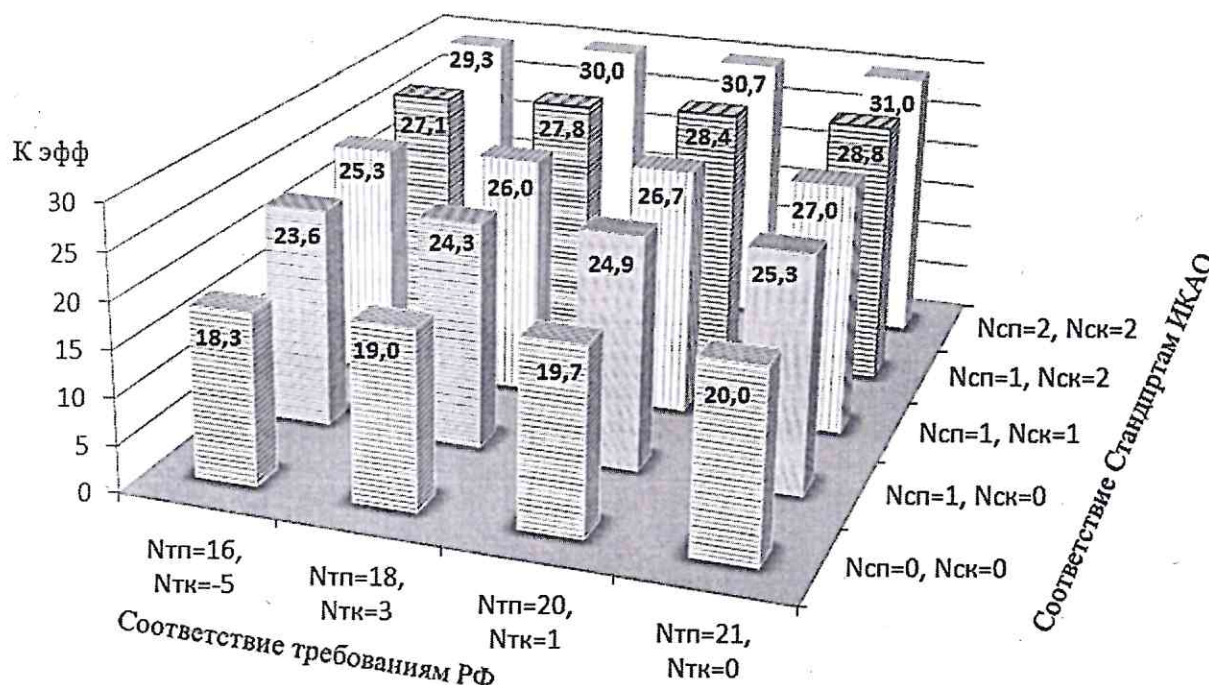


Рисунок 3 - Значения коэффициента эффективности СУБП в зависимости от уровня внедрения требований РФ и Стандартов ИКАО

Ранжирование уровней эффективности СУБП, выполненное на основе экспертных оценок, представлено в табл. 3.

Таблица 3. –Уровни эффективности СУБП организации по ОВД на основе Кэфф

Уровень эффективности СУБП	Кэфф
Недостаточный	13,0 - 18,2
Приемлемый	18,3 - 21,0
Средний	21,1 - 26,3
Высокий	более 26,3

Разработанный метод позволяет более объективно оценить уровень эффективности СУБП организации по ОВД, может применяться при самообследовании и будет мотивировать организации по ОВД внедрять SARPcИКАО и передовые практики управления БП.

Полный текст Методических рекомендаций содержится в Приложении Б к диссертации.

В третьей главе приведены результаты разработки метода оценки риска для БП с использованием нейро-нечеткой модели.

Представляется важной задача управление рисками, которые выявляются на основании проявлений «индикаторов риска» как при проверках организации органом контроля с

использованием риск-ориентированного подхода, так и при самообследовании, что соответствует «проактивной методике» выявления факторов опасности в РУБП ИКАО.

Задача по разработке методики оценки риска по проявлениям индикаторов риска формулируется следующим образом.

При проведении проверки организации по ОВД (самообследовании) зафиксированы проявления с разной степенью интенсивности некоторых индикаторов риска, как элементов множества: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, $x_i \in (0,1)$. Условимся, что при $x_i=0$ индикатор не проявился, при $x_i=1$ индикатор имеет максимальную степень проявления. Требуется оценить суммарный риск Y с учетом субъективности оценок проявлений индикаторов, как отображение множеств:

$$f: X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\} \rightarrow Y \{y\}. \quad (6)$$

Для решения задачи необходимо:

1. Сформировать обоснованный перечень важных для организации индикаторов риска;
2. Разработать метод построения отображения (6).

Индикаторы риска, введенные в ГА Приказом Минтранса № 423 от 30.11.2021, фактически предусматривают реагирование на имевшие место авиационные инциденты, что противоречит ФЗ-248 и не соответствует проактивной методике ИКАО.

В данной работе автором на основании опыта проверок организаций ОВД было предложено 8 индикаторов. Проведено ранжирование индикаторов по степени важности для формирования перечня на основе экспертных оценок с применением методов средних арифметических рангов и медиан рангов. К работе привлекались 7 экспертов, каждому было предложено присвоить каждому их индикаторов ранг значимости цифрой от 1 до 8, где 1 - ранг наиболее важного индикатора, 8 - наименее важного. Листы опроса экспертов приведены в Приложении В. В результате приняты 4 индикатора:

1. Затруднен радиолокационный контроль части воздушного пространства зоны ответственности;
2. Неполный визуальный обзор контролируемого воздушного движения с рабочего места диспетчера;
3. Недостатки в поддержании работоспособного состояния РТОП и авиационной электросвязи.
4. Отклонения от требований при проведении стажировки и проверки персонала.

Согласованность мнений экспертов оценивалась коэффициентом конкордации Кендалла:

$$W = \frac{12S_W}{m^2(n^3 - n)}, \quad (7)$$

где m – число экспертов в группе;

n – число оцениваемых объектов;

S_W – сумма квадратов разностей рангов, рассчитывается по формуле:

$$S_W = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m r_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right]^2, \quad (8)$$

где r_{ij} - ранг, присвоенный i -м экспертом j -му объекту оценки, $i = \overline{1, m}$; $j = \overline{1, n}$.

Получен коэффициент конкордации $W=0,653$, что свидетельствует о достаточно высокой степени согласованности мнений экспертами. Выбранные экспертами 4 индикатора могут использоваться при построении модели оценки риска организации по ОВД.

Ввиду высокой степени неопределенности подобных задач при их решении естественным образом нашли применение приложения теории нечетких множеств (ТНМ). Для решения поставленной задачи подходят системы нечеткого вывода Мамдани и Сугено, которые могут быть реализованы в среде Matlab в модуле *FuzzyLogicToolbox*. Схема системы нечеткого вывода представлена на рис. 4. Предназначение модулей по следующее:

- фаззификатор преобразует четкий вектор входных данных (оценки степени проявления индикаторов) X в вектор нечеткого множества $\bar{X}$;
- в нечеткой базе знаний заложена зависимость Y от X в форме правил <ЕСЛИ...ТО>;
- ФП необходимы для представления термов ЛПП в виде нечетких множеств;
- фаззификатор осуществляет отображение четких введенных значений X в нечеткое множество $\bar{X}$;
- блок нечеткого логического вывода, используя лингвистические правила базы знаний, формирует значения выходной переменной в виде нечеткого множества $\bar{Y}$;

- дефаззификатор преобразует полученное из блока нечеткого вывода нечеткое множество $\bar{Y}$ в четкое число Y .

Для реализации модели необходимо разработать функции принадлежности (ФП) и нечеткую базу знаний. ФП можно сформировать двумя способами: методом экспертной оценки и парных сравнений. При 4-х индикаторах будет 4 ФП, каждая должна иметь минимум два терма. Задача достаточно сложная при использовании любого из указанных методов, и нужно учитывать, что на практике количество индикаторов может быть гораздо больше четырех.



Рисунок 4. - Блок-схема системы нечеткого логического вывода

Для рассматриваемой задачи, помимо трудностей с построением ФП, сложности возникают и при формировании базы знаний. Если степень проявления каждого из m индикаторов имеет два значения: 1 - индикатор проявился. 0 - не проявился, нечеткая база знаний будет содержать 2^m правил и при 4-х индикаторах правил будет $2^4=16$. При увеличении количества индикаторов размер базы и количество термов ФП становится слишком большим. Неизбежна также высокая доля субъективизма и невозможна адаптация и обучение.

Другим подходом к решению поставленной задачи может быть построение модели с применением нейронных сетей, в которых по отдельности простые процессоры соединяются в большую сеть и их взаимодействие управляется, эти сети становятся способными решать сложные задачи. Это позволяет получить огромную вычислительную мощность при хорошей отказоустойчивости. Однако бывает сложно представить функциональные зависимости «вход – выход» объекта в явном виде, поскольку знания, накопленные сетью, распределяются между всеми ее элементами.

Объединить достоинства и нивелировать недостатки методов нечеткого логического вывода и нейронных сетей позволяют адаптивная нейро - нечеткая система вывода (*Adaptive Network-based Fuzzy Inference System* – ANFIS). Это искусственная нейронная сеть, основанная на нечеткой системе вывода Сугено. Она использует мощность вычислений и возможность обучаться от нейронных сетей и соединяют эти преимущества с нечеткими правилами выработки решений, что свойственно «человеческому» способу мышления.

В ANFIS вывод формируется с помощью хорошо разработанного и проверенного на практике аппарата нечеткой логики, а параметры ФП создаются и настраиваются при реализации алгоритмов обучения нейронной сети.

Сеть ANFIS может быть построена разными способами, цель – получить практически применимый инструмент прогнозирования риска организации при выявленных при проверках или самопроверках в рамках СУБП организации признаках наличия одного или нескольких индикаторов риска с различными уровнями серьезности их проявления.

Для формирования обучающей выборки эксперты оценивали предполагаемый уровень риска организации при различных сочетаниях проявлений индикаторов. Проявления индикаторов выражались простой бинарной оценкой: проявился индикатор – оценка «ДА» или 1, не проявился – оценка «НЕТ» или 0. Задача эксперта состояла в том, чтобы сопоставить сочетания проявлений индикаторов и выбрать один из четырех вариантов оценки риска: «Высокий», «Значительный», «Средний» или «Низкий».

В вопроснике было необходимо учесть все варианты сочетаний двух возможных ответов «Да» и «Нет» для четырех индикаторов. Таких сочетаний всего $2^4=16$. Таким образом, обучающая выборка соответствует базе знаний нечеткого логического вывода типа Сугено. Фрагмент таблицы экспертного опроса приведен в таблице 4.

Каждый эксперт оценивает риск для каждого из 16 возможных сочетаний проявления ФО. Результаты опроса пяти экспертов, которыми были специалисты Росавиации и Ространснадзора, приведены в Приложении Г к диссертации.

В диссертационной работе использован ANFIS-редактор программного пакета Matlab. Для рассматриваемой задачи обучающая матрица исходных данных имеет 5 столбцов: это проявления 4-х индикаторов плюс столбец оценки риска. Численные значения проявлений индикаторов соответствуют табл.3. Уровням риска, назначаемым экспертами, присваиваются численные значения: «Высокий» - 4, «Значительный» - 3, «Средний» - 2, «Низкий» - 1.

Таблица 4. Фрагмент таблицы экспертного опроса

№	ИНДИКАТОРЫ				Уровень риска
	1. Частичное отсутствие р/л контроля	2. Отклонения от требований стажировки и проверки	3. Недостатки документов по СУБП	4. Недостатки в поддержании состояния РТОП, связи	
1	Да	Нет	Да	Да	
2	Нет	Нет	Да	Да	
3	Нет	Да	Нет	Нет	

Поскольку каждый из 5 экспертов оценивал риски по 16 вариантам проявлений индикаторов, матрица исходных данных имеет размер 80x5. Фрагмент матрицы обучающей выборки – это выделенная часть таблицы, приведенной на рис. 5.

№	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	y
1	1	0	1	1	4
2	0	0	1	1	2
3	0	1	0	0	2
4	1	1	0	0	2
5	1	0	0	0	4

Рисунок 5. - Фрагмент таблицы формирования матрицы обучающей выборки

Полностью матрица исходных данных обучающей выборки приведена в Приложении Д. Файл с набором данных для обучения вводится в диалоговое окно ввода параметров, выбирается количество ФП для каждой переменной, равное 2, тип ФП Гаусса и разбиение решеткой *Gridpartition*. Параметры обучения сети: уровень ошибки (*ErrorTolerance*) - по умолчанию 0, количество циклов обучения (*Epochs*) – 20, метод обучения - гибридный (*hybrid*), который является сочетанием метода наименьших квадратов и метода убывания градиента. Результат обучения приведена на рис. 6, а структура полученной нечеткой сети – на рис. 7.

Решить поставленную задачу прогнозирования риска при любых сочетаниях индикаторов и любой степени их проявления позволяет использование интерфейса просмотра *RuleViewer* правил сгенерированной системы нечеткого вывода, который показан на рисунке 9.

В соответствии с поставленной задачей в условии (1) вводим показатель «Степень проявления индикатора риска x» как действительное число от 0 до 1, которое показывает, в какой степени данный индикатор проявил себя по результатам проверки.

Например, если индикатор 1 четко наблюдается в наиболее опасном виде, то $x_1=1$. Если же наличие индикатора 2 можно оценить, как проявляющегося на 50%, то $x_2=0,5$ и т.д. Значение степени проявления каждого показателя x_i для каждого наблюдаемого индикатора риска устанавливает проверяющий. Так учитывается присутствующая на практике различная степень проявления и, соответственно, разная степень опасности недостатков, их «нечеткость».

Сгенерированная и обученная нечеткая нейронная сеть позволяет, задавая значения всех $x_i=1\dots 4$, получить количественную оценку прогноза риска $y=R$ в диапазоне от 1 до 4, т.е. от низкого риска до высокого. Для этого необходимо в окне *Input* в нижней левой части формы *Rule Viewer* задать подряд через пробелы значения x_i для индикаторов с 1 по 4, либо переместить в соответствующие положения красные курсоры в столбцах ФП.

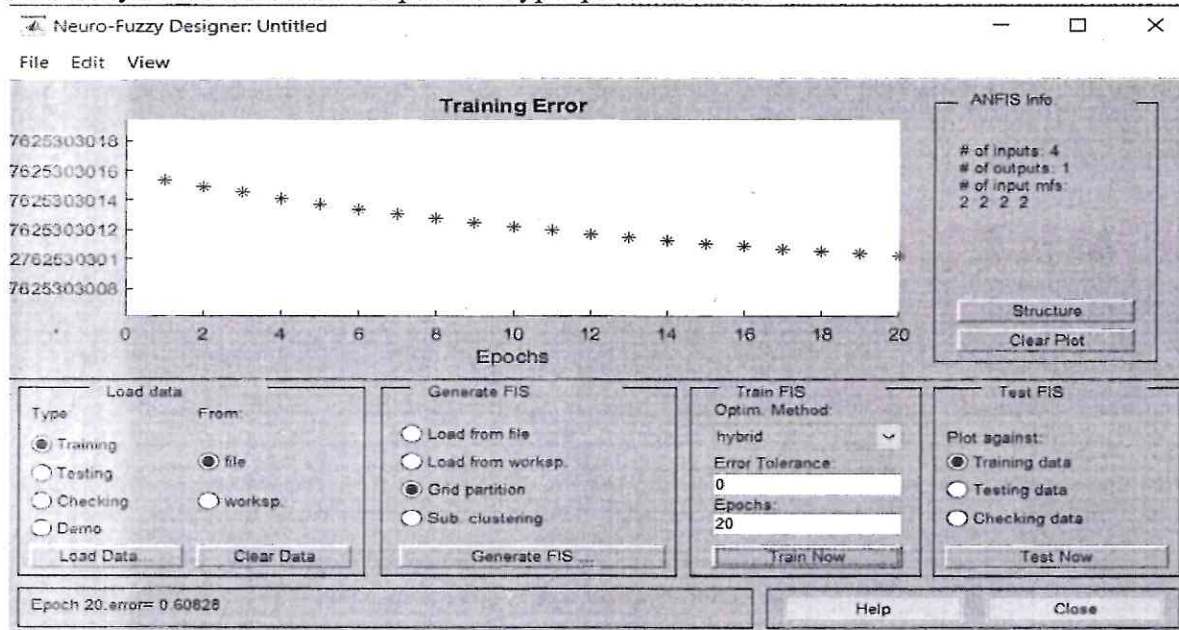


Рисунок 6. - Результаты обучения сети в окне редактора гибридных систем

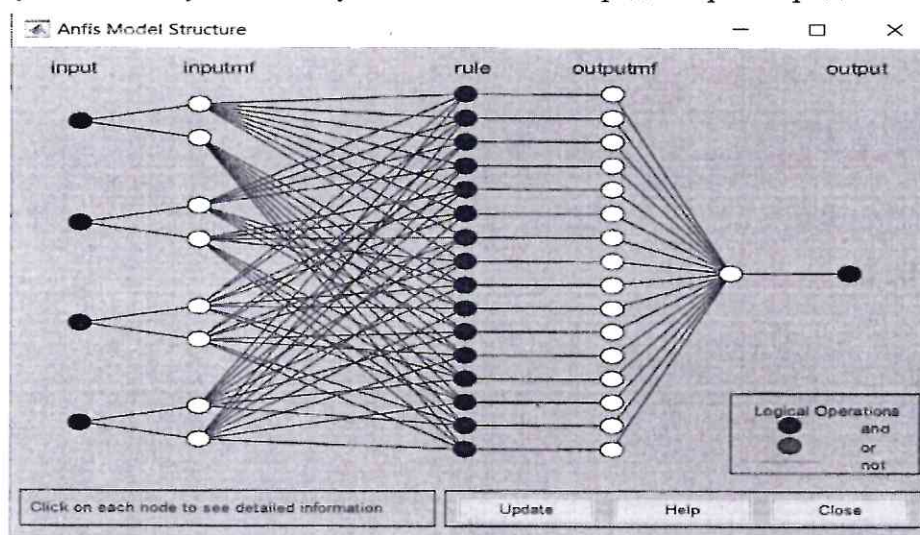


Рисунок 7. - Структура сгенерированной нечеткой нейронной сети

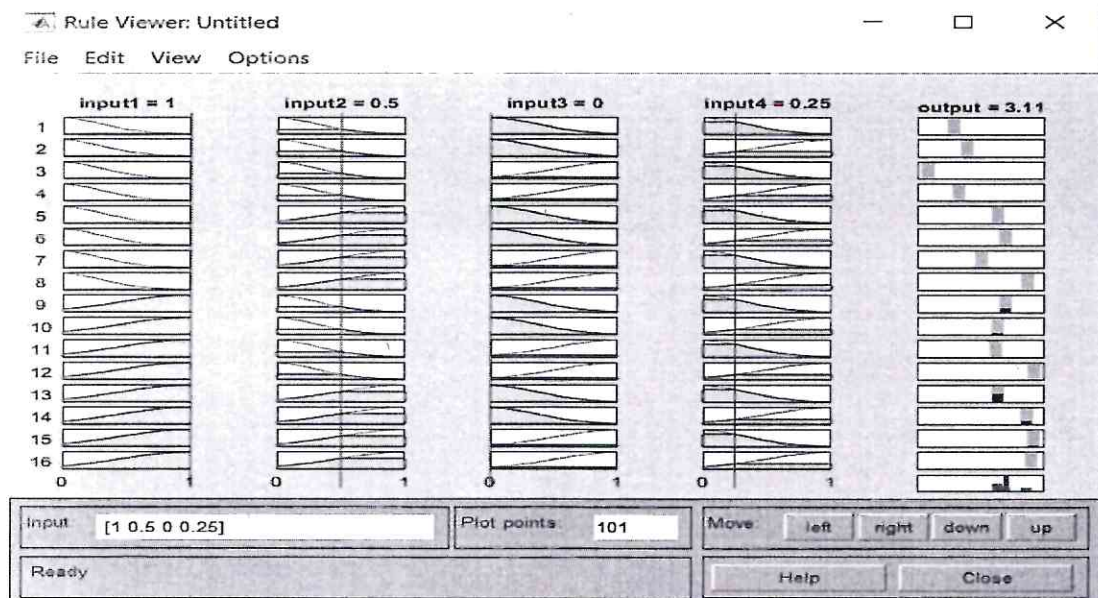


Рисунок 8. - Вывод результатов прогнозирования рисков объекта на основе выявленных проявлений индикаторов риска:

Например, на рисунке 8 заданы значения: $x_1=1$; $x_2=0,5$; $x_3=0$; $x_4=0,25$. Эти значения (*Input* 1, 2, 3, 4) можно видеть над соответствующими столбцами ФП. Над правым крайним столбцом результатов (*Output*) имеем рассчитанную системой оценку риска $R=3,11$. Это значит, что в данном случае прогнозируемый риск несколько больше, чем значительный, однако существенно меньше, чем высокий. В общем случае интерпретация полученного результата – это задача специалиста, выполняющего контрольные функции или специалиста по СУБП при самообследовании. При этом, разумеется, необходимо учитывать ошибку системы.

Была проведена процедура валидации модели по ГОСТ Р 5770.23-2020 «Компьютерные модели и моделирование. Валидация. Общие положения», что подтвердило адекватность модели. Отчет по процедуре валидации модели приведен в Приложении Е к диссертации.

Дополнительной опцией Matlab является графический интерфейс для просмотра поверхности сгенерированной системы. На рисунке 9 представлены поверхности результата прогноза риска в координатах x_1/x_2 при двух вариантах фиксированных значений x_3 и x_4 .

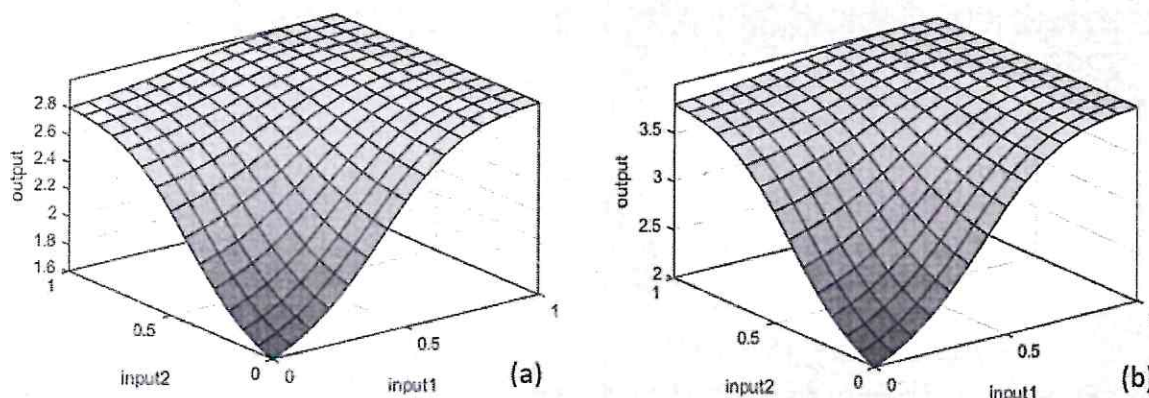


Рисунок 9. - Поверхности уровня риска в координатах x_1/x_2
(a) при $x_3=x_4=0$; (b) при $x_3=x_4=1$

В четвёртой главе диссертации описана разработка сбалансированного показателя БП, методов его мониторинга и прогнозирования, как ключевого элемента оперативного контроллинга в организации по ОВД.

Контроллинг как современное теоретическое и практическое направление менеджмента для создания комплексной системы управления организацией находит все более широкое применение в разных отраслях производства, в том числе и в ГА.

Понятия «контроль» и «контроллинг» принципиально различаются. «Контроль» заключается в отслеживании результатов процессов, «контроллинг» позволяет контролировать процессы, а не результаты, способен выявлять, где и когда произошел сбой и своевременно внести изменения, объединяя риск-менеджмент, управление качеством, информационную поддержку, управление показателями, оценку выполнения решений и другие аспекты управления авиапредприятием (рис. 10). На этом рисунке выделены элементы СУБП, органично вошедшие в структуру контроллинга.

Различают стратегический и оперативный контроллинг.

Стратегический контроллинг призван вырабатывать цели и задачи на среднесрочную и долгосрочную перспективу, разрабатывать способы достижения целей и решения задач.

Оперативный контроллинг разрабатывает своевременные мероприятия в рамках ограниченного периода, направленные на устранение отклонений фактических показателей от плановых, и выполняет краткосрочное прогнозирование.

Важной задачей оперативного контроллинга любого авиапредприятия, в том числе и организации по ОВД, является разработка сбалансированного показателя БП (SPI), методов его мониторинга и прогнозирования.

Различают показатели БП на государственном и корпоративном уровне. По Стандартам ИКАО государство обязано иметь показатели (SPI) и устанавливать их целевые (SPT) и пороговые приемлемые уровни.



Рисунок 10. - Общая структура контроллинга в авиапредприятии

Как показал анализ, показатели и уровни, установленные Постановлением Правительства РФ от 30.06.2021 № 1064 не имеют убедительного обоснования. Например, заданные значения показателя «число погибших на 1 миллион перевезенных» значительно хуже фактического значения в ГА РФ и на порядок хуже его уровня в мировой ГА. Показатель «количество авиационных происшествий на 1 миллион перевезенных», указанный в документе, не применяется в других странах и международных организациях ГА.

Также были выявлены недостатки в методике, рекомендованной ИКАО, для расчета целевых и пороговых уровней показателей на будущий период по данным за прошлые годы. Получены новые расчетные формулы, основанные не на точечных, а на интервальных оценках параметров распределения случайной величины «ежемесячный показатель БП»:

$$K_{\text{ц}} = \left(1 - \frac{C}{100}\right) \left(\tilde{m} - t_{\beta} \frac{\tilde{\sigma}}{\sqrt{n}}\right),$$

$$K_{\text{Т-1}} = K_{\text{ц}} + \sqrt{\tilde{\sigma}^2 \left(1 - t_{\beta} \sqrt{\frac{2}{n-1}}\right)}, \quad K_{\text{Т-2}} = K_{\text{ц}} + 2 \sqrt{\tilde{\sigma}^2 \left(1 - t_{\beta} \sqrt{\frac{2}{n-1}}\right)}, \quad (9)$$

где:

$K_{\text{ц}}$ – целевой уровень показателя БП (SPT);

$K_{\text{Т-1}}$ и $K_{\text{Т-2}}$ – первый и второй пороговые уровни (триггеры);

$\tilde{m}$ и $\tilde{\sigma}$ – точечные оценки математического ожидания (МО) и стандартного отклонения распределения показателя БП по наблюдаемым значениям за некоторый прошлый период;

t_{β} – число, заданное равенством $\Phi(t_{\beta}) = (1 + t_{\beta})/2$; $\Phi(x)$ – функция нормального распределения с МО=0 и дисперсией 1; β – заданная доверительная вероятность (для $\beta=0,95$ $t_{\beta}=1,96$);

n – количество месяцев рассматриваемого периода;

C – величина в процентах, на которую корректируется уровень БП в следующем временном периоде относительно прошлого периода: при $C>0$ целевой и пороговые уровни уменьшаются, при $C<0$ – увеличиваются, при $C=0$ остаются на прежнем уровне.

Для практической оценки и управления БП в организациях по ОВД используются показатели в единицах инцидентов (АИ) на 100 час. налета или в налете часов на 1 инцидент.

В тоже время, например, в анализе БП Росавиации за 2022 г. указано, что кроме инцидентов, было получено 22 сообщения о срабатывании наземной и 19 – бортовой системы предупреждения опасных сближений, а в качестве добровольных сообщений было учтено 82 события, вызванных сбоями в работе наземного радиотехнического, связного и метеорологического оборудования. За период 2019-2020 гг. по данным средств объективного контроля зафиксировано 3385 нарушений ФАП и технологии работы диспетчеров. Все эти факты, безусловно, влияющие на БП, в применяемых в настоящее время показателях в СУБП организаций по ОВД не учитываются.

Кроме того, в РУБП Госкоптации не прописаны четко методы мониторинга показателей, что не позволяют в полной мере отразить уровень БП по филиалам и динамику его изменения для решения задач СУБП.

С учетом структуры отклонений от норм, нарушений и событий при ОВД предлагается в качестве сбалансированного SPI 4-х уровневый показатель $K_{\text{БП-k}}$, на 10 тыс. обслуженных полетов за k -й временной интервал:

$$K_{\text{БП-k}} = \frac{n_1 + 4n_2 + 6n_3 + 10n_4}{N_k} \times 10000, \quad (10)$$

где n_1, n_2, n_3, n_4 – количество отклонений и событий в организации за k -й интервал по группам серьезности 1-4 (1 – минимальная серьезность, 4 – максимальная серьезность);

N_k – количество обслуженных полетов ВС.

$C_1=1, C_2=4, C_3=6, C_4=10$ – весовые коэффициенты.

Критерии отнесения событий к группам приведены в табл. 5.

Таблица 5. Критерии отнесения отклонений и событий к группам серьезности

№ гр	Серьезность	Примеры	C
1	Минимальная	Незначительные отклонения в работе диспетчера от технологии или фразеологии р/обмена, несущественные ошибки в передаче информации экипажу при проверках или по СОК. Отказы ср-в р/связи, навигации, наблюдения со своевременным переключением на резерв. Жалобы экипажей на работу р/средств, не повлекшие изменения плана или ухода на 2 круг.	C_1
2	Средняя	Грубые ошибки диспетчером в технологии работы или фразеологии радиообмена, не приведшие к авиационному событию, но зафиксированные как ПКС по СОК, исправленные экипажем ВС или смежным РЦ. Отказы средств р/связи,	C_2

		навигации и наблюдения, осложнившие работу диспетчера или экипажа ВС (по докладам экипажа), но не отнесенные к АС.	
3	Опасная	Авиационные инциденты. Нарушение эшелонирования и сближения ВС, не отнесенные к серьезным инцидентам. Отказы средств р/связи, навигации и наблюдения, не отнесенные к серьезным инцидентам.	C ₃
4	Критическая	Серьезные авиационные инциденты Опасные сближения ВС. Отказы средств р/связи, навигации и наблюдения, отнесенные к серьезным инцидентам.	C ₄

Весовые коэффициенты C₁-C₄ определялись экспертным опросом методом Дельфи. Группа состояла из 10 экспертов, на первом этапе эксперты выполняют оценки независимо друг от друга, далее каждого эксперта знакомят с результатами оценки группы и проводится следующий тур. Окончательные результаты приведены в табл. 5.

Исходных балльные оценки экспертов C_{ij} приведены к единой шкале:

$$C_{ij-s} = \frac{C_{ij}}{\sum_{j=1}^4 C_{ij}}$$

Получены нормированные средние значения C_{jN} каждого веса:

$$C_{jN} = \frac{C_{jM}}{C_{1-s}},$$

где C_{jM} - средний вес в единой шкале для j-го коэффициента,

C_{1-s} = 0,048 - значение веса для коэффициента C₁ в единой шкале.

Таблица 6. Результаты экспертных оценок весовых коэффициентов

эксперт	Оценки экспертов				Σ	Приведение оценок к единой шкале				Σ
	C _{i1}	C _{i2}	C _{i3}	C _{i4}		C _{i1-s}	C _{i2-s}	C _{i3-s}	C _{i4-s}	
1	1	4	7	12	24	0,04	0,17	0,29	0,50	1,00
2	1	5	10	15	31	0,03	0,16	0,32	0,48	1,00
3	1	4	6	12	23	0,04	0,17	0,26	0,52	1,00
4	1	3	6	10	20	0,05	0,15	0,30	0,50	1,00
5	1	3	4	6	14	0,07	0,21	0,29	0,43	1,00
6	2	6	10	15	33	0,06	0,18	0,30	0,45	1,00
7	1	5	8	10	24	0,04	0,21	0,33	0,42	1,00
8	1	3	6	10	20	0,05	0,15	0,30	0,50	1,00
9	1	4	8	10	23	0,04	0,17	0,35	0,43	1,00
10	1	3	7	10	21	0,05	0,14	0,33	0,48	1,00
Средние значения - МО(C _{jM})						0,048	0,172	0,308	0,472	
Нормированные средние C _{jN}						1,000	3,573	6,384	9,781	
Весовые коэффициенты C_j						1	4	6	10	
Среднеквадратические отклонения - СКО						0,011	0,024	0,026	0,036	
Коэффициенты вариации						0,228	0,139	0,085	0,076	

Как видно по коэффициенту вариации, согласованность экспертов хорошая.

Расчеты по формуле (10) следует выполнять регулярно для службы ОВД и для службы РТОП с представлением их на экране мониторинга.

В рамках оперативного контроллинга важен мониторинг показателей. Применяются следующие методы: непосредственный мониторинг показателя; простое и взвешенное скользящего среднего; метод кумулятивных сумм.

При непосредственном мониторинге на экран наносится целевой уровень (SPT) и 2 или 3 пороговых уровня (триггеры). При мониторинге показателей редких событий на диаграмме

можно видеть превышения порогов, но график пилообразной формы недостаточно информативен, чтобы выявить тенденцию. В подобных случаях успешно применяются методы скользящего среднего. Если задать период сглаживания в 1 квартал, показатель, который будет представлен на графике мониторинга, как показатель за i -й месяц, для скользящего среднего K_C^i рассчитывается как:

$$K_C^i = \frac{w_{i2}K_{БП}^{i2} + w_{i1}K_{БП}^{i1} + w_iK_{БП}^i}{3}, \quad (11)$$

где: $K_{БП}^i$ – показатель i -го месяца; $K_{БП}^{i2}$ и $K_{БП}^{i1}$ – показатели за 2 последние месяца перед i -м; w_{i2}, w_{i1}, w_i – весовые коэффициенты.

Для простого среднего $w_{i2} = w_{i1} = w_i = 1$, для взвешенного веса подбираются так, чтобы недавние события учитывались в большей степени, обычно $w_{i2} + w_{i1} + w_i = 3$.

На рисунке 11 приведены диаграммы непосредственного мониторинга ($K_{БП}$), простого и взвешенного среднего по данным одной из организаций по ОВД за 2022 и 2023 гг. Веса для взвешенного среднего следующие: $w_{i2}=0,75$, $w_{i1} = 1$, $w_i = 1,25$. Можно видеть, что применение скользящего среднего дает более плавную картину изменения $K_{БП}$.

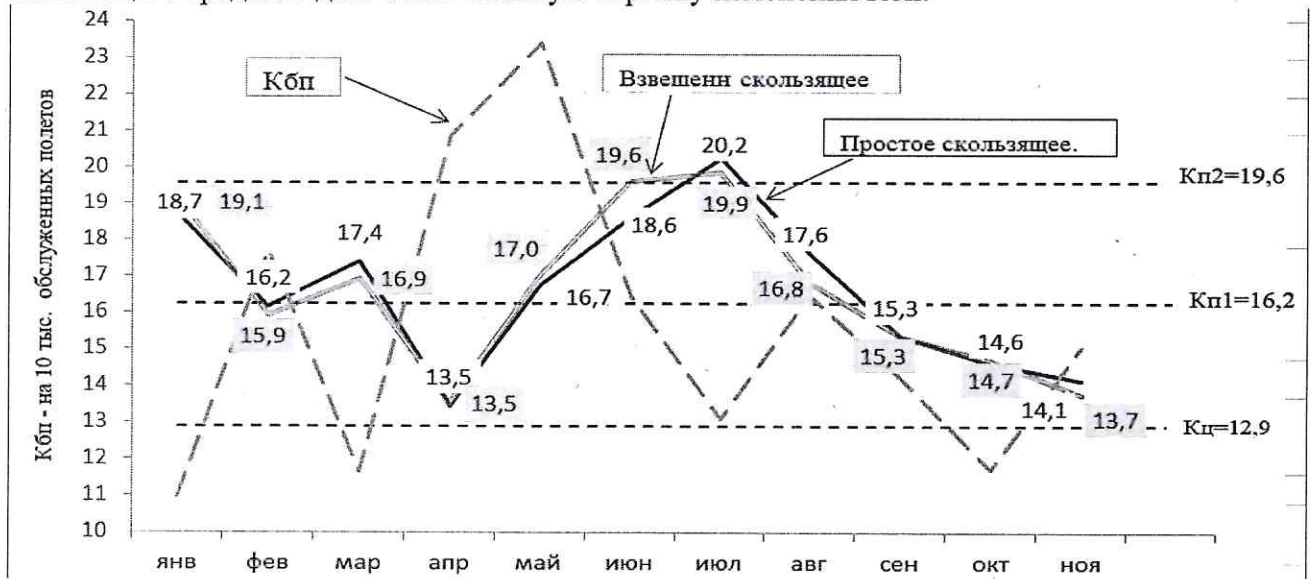


Рисунок 11. – Примеры мониторинга показателя БП скользящим средним.

Можно видеть, что уровень БП в 2023 в этой организации снизился. В апреле, июне и августе был превышен первый пороговый уровень, а в мае – и второй.

Для оценки изменения уровня БП подходит и «кумулятивный метод» – метод учета кумулятивных сумм, расчет которых S_r на каждый отчетный i -й месяц ($i=r$) имеет вид:

$$S_r = \sum_{i=1}^r (K_{БПi} - K_{п1}) = S_{r-1} + (K_r - K_{п1}) \quad (12)$$

где: $K_{БПi}$ – значение коэффициента БП за отчетный месяц ($i=r$);

$K_{п1}$ – принятый в текущем году первый 1-й пороговый уровень показателя БП;

S_{r-1} – кумулятивная сумма за месяц перед отчетным (для которого $i=r-1$).

По расчетам по ф-ле (12) по тем же данным, что и рис. 12, построена диаграмма, рис. 12.

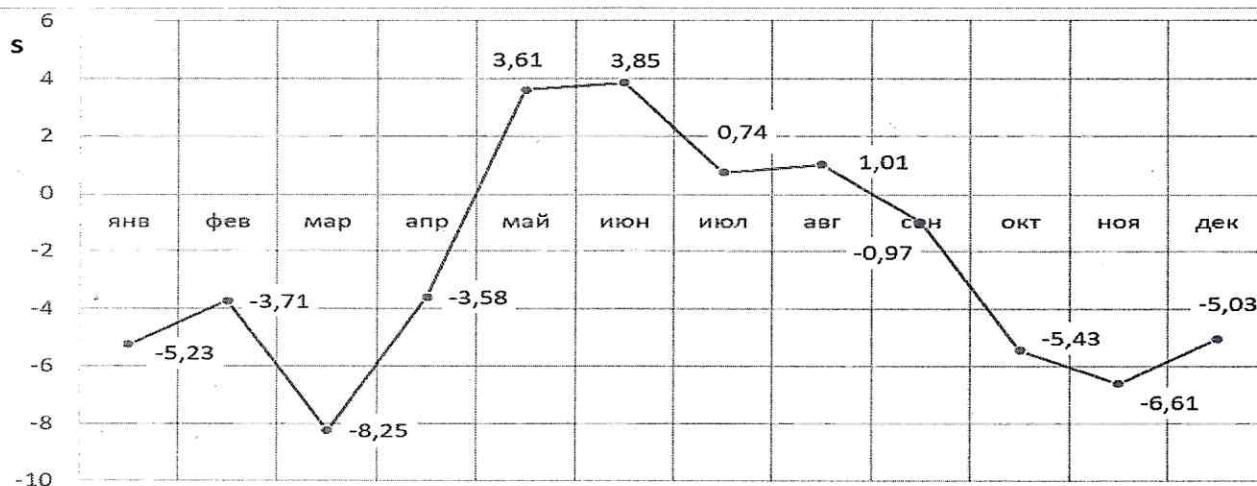


Рисунок 12. - Карта кумулятивных сумм показателя Кбп за 2023 г.

Оценить параметры БП можно по наклону кривой. Положительный наклон говорит об ухудшении уровня БП, отрицательный – о его улучшении.

В данном случае в периоды январь - февраль, март-июнь и ноябрь-декабрь линия графика имеет положительный наклон, что говорит об ухудшении БП в эти периоды. Наихудшие показатели были в мае и июне. Возможно, это связано с увеличением количества обслуживаемых полетов и возросшей нагрузкой на систему ОВД. Корректирующие мероприятия были необходимы в мае, июне, июле и августе, когда кумулятивные суммы имели положительные значения. В остальные периоды года разброс значений показателя БП был в допустимых пределах и дополнительных мероприятий не требовалось.

Прогнозирование показателя БП в авиационной деятельности всегда являлось важной задачей, которая также входит в круг задач контроллинга.

В работе рассмотрено использование для краткосрочного прогнозирования двух методов: метод экспоненциального сглаживания данных и метод Хольта.

Метод экспоненциального сглаживания используется для прогнозирования на 1 период вперед, формула расчета:

$$K_{r+1}^n = \alpha K_r^\Phi + (1 - \alpha)U,$$

где K_{r+1}^n - прогнозируемое значение показателя на следующий период;

K_r^Φ - фактическое значение показателя за текущий период;

α - параметр сглаживания, $\alpha = \frac{2}{n+1}$, где n - число наблюдений в интервале сглаживания;

U - экспоненциально взвешенная средняя.

Выполнено прогнозирование Кбп по месяцам 2023 г. по данным за 12 месяцев 2022 г., при этом α изменяется от $\alpha = \frac{2}{12+1} = 0,167$. до $\alpha = \frac{2}{24+1} = 0,008$.

U – как среднее значение предыдущего периода при прогнозировании по месяцам 2023г. U будет изменяться от среднего за 12 месяцев 2022 г. до среднего за 23 месяца. Для прогнозирования использованы те же данные, что и для всех предыдущих расчетов.

Рассчитаны относительные погрешности прогноза: $\varepsilon_r = \left| \frac{K_r^\Phi - K_r^n}{K_r^\Phi} \right|$, они используются для расчета средней погрешности MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_r \cdot 100.$$

Прогноз признается отличным при $MAPE < 10\%$, хорошим при $10\% < MAPE < 20\%$ и удовлетворительным при $20\% < MAPE < 30\%$.

При прогнозировании экспоненциальным сглаживанием получено значение $MAPE = 20,67\%$, т.е. прогноз весьма близок к хорошему.

Прогнозирование уровня БП методом Хольта выполняется на основе экспоненциального сглаживания с учетом тренда. Значения показателей экспоненциально сглаженного ряда K_r^{nc} :

$$K_r^{nc} = \alpha K_{r-1}^\Phi + (1 - \alpha)(K_{r-1}^{nc} - T_{r-1}),$$

где T_{r-1} - величина тренда за предыдущий период.

Для первого периода $K_r^n = K_r^\Phi$, далее расчет ведется с учетом тренда:

$$T_r = \beta + (1 - \beta)T_{r-1}, K_r^n = K_{r-1}^n + T_r$$

где β - коэффициент сглаживания тренда, α и β выбираются в интервале от 0 до 1.

Первоначально при $\alpha = \beta = 0,5$ получен прогноз с $MAPE = 20,64\%$, т. е. качество как при прогнозировании методом экспоненциального сглаживания.

Прогноз был улучшен с помощью функции MS Excel «Поиск решения». После подбора оптимальные $\alpha = 0,16$ и $\beta = 0,65$, что минимизирует целевую функцию $MAPE$, получен прогноз, который по $MAPE = 15,29\%$ оценивается как хороший.

Таким образом, использование метода Хольта с корректировкой оказывается предпочтительнее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы цель диссертационного исследования достигнута в полном объеме: решена научная задача разработки методов оценки эффективности СУБП организации по ОВД в целях совершенствования ее функционирования для предотвращения авиационных происшествий и повышения уровня БП при АНО.

Получены следующие основные результаты.

1. Разработан новый метод проведения проверки СУБП организации ОВД, который, в отличие от действующих, учитывает возможность оценки частичного внедрения требований Воздушного законодательства РФ, а также выполнение в организации Стандартов ИКАО, которые пока не внедрены в РФ, и рекомендаций международных организаций.

2. Разработан с использованием современных технологий экспертного оценивания количественный показатель эффективности СУБП, который позволяет ранжировать организации по уровню «зрелости» СУБП и стимулирует их на более полное внедрения SARP's ИКАО и передовых мировых практик по управлению безопасностью полетов.

3. Впервые в практике управления БП применена разработанная автором нейро-нечеткая модель (сеть ANFIS) оценки рисков с использованием значений степени проявления индикаторов риска, выявленных при проверке или при самообследовании в организации по ОВД. Модель повышает возможности проактивного управления рисками в рамках современного риск-ориентированного подхода к надзорно-контрольной деятельности.

4. Показана возможность построения сети ANFIS для проактивной оценки суммарного риска в программной среде Matlab, что позволяет автоматизировать процедуры оценки и применить методику в любом авиапредприятии.

5. Разработан метод расчета и мониторинга нового сбалансированного показателя уровня БП (SPI), при этом обоснованы поправки в методику расчета целевого (SPT) и пороговых уровней БП, рекомендуемую ИКАО.

6. Предложены различные методы мониторинга SPI и краткосрочного прогнозирования, которые рассматриваются как элементы оперативного контроллинга - перспективного направления в развитии теории и практики управления авиапредприятием.

7. Внедрение методов оценки эффективности СУБП в организациях по ОВД позволит повысить роль СУБП в обеспечении БП и достичь снижения количества отклонений от установленных правил оценочно на 10-15%.

8. Дальнейшая разработка темы может вестись по следующим направлениям:

- продолжать работу по формированию контрольных вопросов проверки СУБП организации ОВД с учетом изменений в нормативных документах;
- расширить набор индикаторов риска с привлечением опытных специалистов в области АНО в качестве экспертов;
- рассмотреть возможность разработки специального ПО для разработанной модели ANFIS, применимой в деятельности организации по ОВД, с целью дальнейшей автоматизации процедур оценки риска;
- популяризировать полученные в диссертации результаты, в том числе принципы и философию контроллинга, как современного подхода к управлению предприятием;
- использовать полученные результаты исследования для совершенствования учебного процесса подготовки студентов и слушателей курсов повышения квалификации МГТУ ГА.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК

1. Образцов Р.А., Шаров В.Д. О применении нечетких нейронных сетей в рамках риско-ориентированного подхода к контрольно-надзорной деятельности в гражданской авиации. Научный вестник МГТУ ГА. 2023;26(1) С. 58-71.
2. Шаров В.Д., Образцов Р.А., Поляков П.М. О показателях безопасности полётов, их целевых и пороговых уровнях. Научный вестник ГосНИИ ГА. 2023. № 43. С. 145–155.
3. Образцов Р.А., Шаров В.Д. Анализ сбалансированного показателя безопасности полетов как ключевой элемент оперативного контроллинга в организации по ОВД. Научный вестник МГТУ ГА. 2024;27(3) С. 67-80.

В других изданиях

1. Сулаев С.А., Образцов Р.А., Цыбаев В.В. Нормативно-правовой аспект и существующие проблемы использования беспилотных летательных аппаратов в не сегрегированном воздушном пространстве. Наука и образование: проблемы, идеи, инновации Междисциплинарный научный журнал № 6 (18) 2019. С. 33 - 39.
Цыбаев В.В., Образцов Р.А., Матюхин К.Н. Осуществление государственного контроля и надзора для обеспечения модернизации средств радиотехнического обеспечения полетов и системы обеспечения аэронавигационных служб управления воздушного движения аэропортов Центрального федерального округа, не входящих в Госкорпорацию по организации воздушного движения, при переходе к новой структуре воздушного пространства. Высшая школа: научные исследования. Мат. Межвузов. Международн. конгресса, 2021 (Т 2). С 120-130.
3. Образцов Р.А. Анализ структурных органов ОрВД аэропортов Центрального федерального округа не входящих в федеральное государственное унитарное предприятия «Государственная корпорация по организации воздушного движения Российской Федерации». Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию МГТУ ГА 25–26 мая 2021 г. С. 203-205.
Цыбаев В.В., Образцов Р.А., Матюхин К.Н. Методика выявления факторов опасности, перечень факторов опасности и расчёт показателя эффективности обеспечения безопасности полетов при организации воздушного движения. Высшая школа: научные исследования Материалы Межвузовского международного конгресса Москва, 24 июня 2021 г. С 89 - 97.
5. Цыбаев В.В., Образцов Р.А., Матюхин К. Н. Расчёт и сравнительный анализ показателя эффективности обеспечения безопасности полетов при организации воздушного движения. Научное издание Наука и инновации - современные концепции Материалы международного научного форума 16 июля 2021 г. С 137 - 142.
6. Образцов Р.А., Шаров В.Д. Использование адаптивной нейро - нечеткой системы для оценки риска при проведении контрольно-надзорных мероприятий на объектах ГА. Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации 18-19 мая 2023 г. С 160 — 162.
7. Образцов Р.А., Шаров В.Д. Методика самообследования в организациях обслуживания воздушного движения. XII всероссийская научно-практическая конференция «Гражданская авиация: прошлое, настоящее, будущее», посвященная празднованию 100-летия гражданской авиации России (АВИАТРАНС-2023) 20 октября 2023 г. С. 33-39.
Шаров В.Д., Образцов Р.А. Применение методов оперативного контроллинга при управлении безопасностью полетов в организации по обслуживанию воздушного движения / Контроллинг в экономике, организации производства и управлении: сборник научных трудов XIII международного конгресса по контроллингу, (Ковров, 24 мая 2024 г.) / под научной редакцией д.э.н., профессора С.Г. Фалько / НП «Объединение контроллеров». – Москва: НП «Объединение контроллеров», 2024. – 177 с.: С. 161 – 171.

Соискатель



Р. А. Образцов