

На правах рукописи



**ТОЛСТЫХ Сергей Александрович**

**МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ В  
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА АЭРОДРОМА**

**Специальность 05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
**диссертации на соискание учёной степени**  
**кандидата технических наук**

Москва – 2022 г.

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

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры «Безопасность полётов и  
жизнедеятельности» ФГБОУ ВО МГТУ ГА,  
**Шаров Валерий Дмитриевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,  
заместитель директора по управлению  
безопасностью полетов ПАО «Авиакомпания  
«ЮТэйр»,  
**Гузий Анатолий Григорьевич**

кандидат военных наук, доцент кафедры  
безопасности полетов, Военный учебно-научный  
центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная  
академия имени профессора Н.Е. Жуковского и  
Ю.А. Гагарина»,  
**Золотых Валерий Иванович**

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

Защита состоится «13» Апреля 2022 г. в 16<sup>00</sup> на заседании  
диссертационного совета Д 223.011.01 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](http://www.mstuca.ru).

Автореферат разослан " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2022 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета Д 223.011.01  
доктор технических наук, профессор

Самойленко Василий Михайлович

### Общая характеристика работы

**Актуальность избранной темы.** Вопросы обеспечения безопасности полетов (БП) по-прежнему остаются актуальными для научных исследований в области гражданской авиации (ГА). Причиной тому служат происходящие авиационные события (АС) на практике, причем большая часть из них связаны с обеспечением безопасности на аэродроме.

По данным Федерального агентства воздушного транспорта (ФАВТ) на текущем этапе для БП гражданской авиации Российской Федерации (РФ) наибольший риск представляют авиационные происшествия категории «RS - Безопасность на взлетно-посадочной полосе (ВПП)». К событиям этой группы относятся случаи нештатных касаний ВПП (ARC), выкатываний за пределы ВПП (RE), несанкционированных выездов на ВПП (RI), столкновений с птицами (BIRD), столкновений с препятствиями на земле (GCOL, STOL), потерей управления при движении по земле (LOC-G), а также события, связанные с наземным обслуживанием (RAMP) и инфраструктурой аэродрома (ARDM). С этой группой событий в 2015 – 2019 годах было связано 5 авиационных происшествий в том числе 2 катастрофы. Все происшедшие в течение 2019 года в РФ авиационные происшествия (АП) с самолетами при регулярных перевозках были связаны с этой группой событий.

Ответственность в таких событиях возлагается не только на эксплуатантов воздушных судов (ВС), но и на операторов аэродромов, обеспечивающих эксплуатацию аэродрома ГА и его соответствие требованиям федеральных авиационных правил (ФАП).

В соответствии с требованиями ФАП операторы аэродромов должны управлять рисками БП посредством внедрения эффективной системы управления безопасностью полетов (СУБП), однако, при ее разработке и внедрении сталкиваются с рядом проблем организационного, методологического и технического характера. В настоящее время нет единой методики построения и правил функционирования СУБП для операторов аэродромов, поэтому наблюдается субъективная, и часто необоснованная интерпретация общих требований к СУБП всех поставщиков авиационных услуг. Отметим, что за последние годы накоплен большой опыт управления безопасностью полетов в деятельности авиакомпаний (эксплуатантов ВС), чего нельзя с той же уверенностью сказать об операторах аэродромов.

В соответствии с SARPs<sup>1</sup> ИКАО, СУБП должна разрабатываться с учетом специфики деятельности поставщика обслуживания. Специфика разрабатываемой СУБП оператора аэродрома связана с особенностями производственной деятельности, определяемыми классом аэродрома и аэропорта, а также структурой авиаперевозок, расположением аэродрома, климатическими и орнитологическими условиями и другими факторами.

Методики, применяемые в крупных аэропортах России (например, входящих в Московский авиационный узел) затруднительно эффективно использовать на небольших аэродромах регионального назначения. Прежде всего, это связано с колоссальной разницей в выполняемых объемах обслуживания взлетно-посадочных операций, вследствие чего наблюдается недостаток статистических данных и сведений о факторах опасности (ФО).

Также стоит отметить наличие проблем, связанных с распределением ресурсов на обеспечение БП операторами аэродромов, т.е. с так называемой «управленческой дилеммой». Она заключается в разумном балансе между средствами, выделяемыми на обеспечение БП, и средствами на развитие производства.

Ввиду вышесказанного, актуальность темы исследования обуславливается необходимостью решения научной задачи по разработке, внедрению и применению эффективной системы управления безопасностью полетов при осуществлении деятельности операторами аэродромов различных классов.

#### **Степень разработанности темы исследования.**

В ходе диссертационного исследования были проанализированы и использованы работы, посвященные СУБП (и не только), в том числе и опыт по управлению риском иностранных предприятий, не ограничиваясь опытом операторов аэродромов. Значительную роль в исследовании вопросов обеспечения безопасности полетов сыграли отечественные

---

<sup>1</sup> SARPs (Standards and Recommended Practices) – Стандарты и Рекомендуемая Практика

ученые этой и других (смежных) областей исследования, среди них: В.В. Воробьев, А.Г. Гузий, В.Г. Евдокимов, Л.Н. Елисов, Р.В. Еникеев, Б.В. Зубков, В.В. Кульба, А.М. Лушкин, Н.А. Махутов, А.И. Орлов, Н.И. Плотников, С.Е. Прозоров, В.М. Рухлинский, И.А. Рябинин, В.Д. Шаров и др.

Весомый вклад внесли зарубежные исследователи: Л.А. Заде, А. Кофман, Б. Краун, Н. Левесон, М. Массон, И. Моер, Я. Нисула, Д. Ризон, Т. Саати. Среди зарубежных организаций можно выделить группу по безопасности полетов коммерческой авиации (CAST), США; национальный институт безопасности на транспорте (NLR), Нидерланды; группу по аудиту безопасности полетов наземных операций (ISAGO) при IATA; группу по управлению риском в авиакомпаниях (ARMS) при EASA, отделы БП корпораций Boeing и Airbus.

В области СУБП исследования фокусируются в основном на деятельности авиакомпаний. Вопросы управления решаются в рамках задачи обеспечения БП, которой посвящены работы Е.Ю. Барзиловича, Г.Н. Гипича, А.Г. Гузиева, А.М. Лушкина, Г.Н. Матвеева, В.М. Макарова, Р.В. Сакача, В.Д. Шарова и др. Необходимо отметить разработки Госцентра БП, ГосНИИ ГА, НИИ Аэронавигации, МГТУ ГА, СПб УГА, УГИ ГА.

Часть результатов таких исследований может использоваться для разработки подобных систем для других поставщиков авиационных услуг, однако деятельность операторов аэродромов имеет ряд специфических качеств, которые требуют принципиально новых подходов.

Можно отметить следующие особенности:

- оператор аэродрома должен учитывать все риски организаций, работающих на его территории, в том числе тех, с которыми у него договорные отношения. Например, организация по авиатопливообеспечению, как правило, является самостоятельной, но факторы опасности и риски этого вида деятельности должны находить отражение в СУБП оператора аэродрома;

- при оценке уровня БП бывает сложно установить в какой степени причиной произошедшего события являются недостатки в производственной деятельности оператора аэродрома и, соответственно, как, то или иное событие должно отражаться количественно в его показателе БП;

- на небольших аэродромах авиационные события (происшествия, инциденты и производственные происшествия) происходят крайне редко, поэтому показатели, рекомендованные к использованию в авиакомпаниях, оказываются непригодными.

**Цель** исследования заключается в решении научной задачи по анализу существующих и разработке новых методик управления безопасностью полетов, применимых в производственной деятельности оператора аэродрома.

**Объектом исследования** в настоящей работе является оператор сертифицированного аэродрома РФ, как авиационное предприятие, занятое использованием по назначению, техническим и технологическим обслуживанием авиационной техники, что соответствует паспорту специальности 05.22.14 «Эксплуатация воздушного транспорта».

**Предметом исследования** является методика управления безопасностью полетов в рамках СУБП операторов сертифицированных аэродромов РФ.

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

1. Исследование существующих методологий управления БП, а также специфики СУБП операторов аэродромов;
2. Совершенствование системы показателей БП для производственной деятельности операторов аэродромов, методики установления их целевых и пороговых уровней, методов расчета и мониторинга;
3. Разработка математического алгоритма функционирования системы показателей БП до уровня реализации в виде программы для современной электронно-вычислительной машины (ЭВМ);

4. Разработка метода подготовки и оптимизации управленческих решений по двум важным производственным критериям: повышение показателя уровня безопасности полетов, и снижение расходов, связанных с возможными авиационными событиями.

5. Разработка методики проведения проверок и оценки общей эффективности СУБП операторов аэродромов на основе соответствия нормативно-правовым актам РФ и международной практике.

**Научная новизна** работы состоит в том, что в ней:

- впервые предложена методика применения нового показателя уровня безопасности полетов для операторов аэродромов (показатель КРОС);
- разработана новая методика оптимизации выбора управленческих решений по распределению ресурсов, выделяемых на обеспечение безопасности полетов в производственной деятельности оператора аэродрома;
- обоснована и разработана новая методика проведения проверок СУБП операторов аэродромов;
- впервые разработан коэффициент оценки эффективности СУБП по результатам проведения проверки оператора аэродрома.

**Практическая значимость работы** определяется полученными методиками и методами, доведенными до уровня практического использования, которые позволяют:

- a) объективно оценивать риск для БП и уровень БП оператора аэродрома с учетом серьезности имевших место событий, а также отклонений от правил, процедур и норм с автоматизированным мониторингом его динамики;
- b) оптимизировать распределение ресурсов, выделяемых на обеспечение БП с учетом двух критериев: повышение прогнозируемого уровня БП и снижение ущербов от возможных авиационных событий.
- c) предложить обоснованный метод проверки СУБП оператора аэродрома с оценкой ее эффективности посредством разработанного количественного показателя.

**Методы исследования, использованные в диссертационной работе.**

Для решения поставленных задач в работе использовались методы математического анализа статистических данных, методы эконометрического моделирования – регрессионный анализ, методы экспертных оценок, метод исследования операций теории принятия решений, системный анализ, а также программирование алгоритмов компьютерных программ для современных ЭВМ на базе операционной системы Windows.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Методика оценки риска для безопасности полетов в производственной деятельности оператора аэродрома с использованием трехкомпонентной модели риска.
2. Методика расчета и мониторинга показателя уровня безопасности полетов оператора аэродрома, реализованная в программе для ЭВМ.
3. Решение двухкритериальной задачи по оптимизации распределения ресурсов по критериям улучшения показателя безопасности полетов и минимизации ущербов от возможных авиационных событий.
4. Методика проведения проверок СУБП операторов аэродромов, с расчетом коэффициента эффективности СУБП, реализованные в утвержденных Методических рекомендациях Росавиации.

**Достоверность и обоснованность** полученных автором научных результатов основаны на адекватной постановке задач исследования и корректном использовании математического аппарата, известных теоретических положений, проверке и согласованности полученных и ранее известных результатов, численном моделировании разработанных объектов в системе STATISTICA, разработанной в рамках исследования программы для ЭВМ «Мониторинг КРОС (М-КРОС)», а также опытом внедрения основных результатов в практическую деятельность операторов аэродромов РФ.

**Апробация результатов исследования.**

Промежуточные результаты исследования занимали призовые места в отраслевых конкурсах, докладывались на научных и практических семинарах и конференциях:

1. II международная заочная научно-практическая конференция БГАА: Авиация: история, современность, перспективы развития. Минск, 9–10 ноября 2017 г. Тема: «Разработка системы управления рисками безопасности для эксплуатанта аэродрома».

2. Международная научно-техническая конференция: "Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества" Москва, 16–17 мая 2018 г. Тема: «Применение факторного анализа показателей безопасности полетов для поддержки принятия решений».

3. 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 23-27 ноября 2020 г. Тема: «Разработка программы для ЭВМ для расчета и мониторинга уровня безопасности полетов поставщиков авиационных услуг».

4. Международная научно-техническая конференция, посвященная 50-летию МГТУ ГА «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» 25-26 мая 2021 г. Тема: «Применение регрессионной модели прогнозирования для поддержки принятия решений при управлении безопасностью полетов».

5. V практический семинар «Безопасность полетов. Безопасность топливообеспечения» 17 Марта 2020 г. Тема: «Методика расчета и мониторинга показателя уровня безопасности полетов и ее реализация в программе для ЭВМ».

6. VIII Национальная выставка и форум NAIS (выставка и форум инфраструктуры гражданской авиации) 10 Февраля 2021 г. Тема: «Методика расчета и мониторинга показателя уровня безопасности полетов и ее реализация в программе для ЭВМ».

7. Конкурс НИР молодых ученых учебных заведений ГА. Организатор: ФАВТ (Росавиация), 2020 г. 3-е место в направлении: «Обеспечение безопасности полетов и техносферная безопасность». Тема: «Предложение нового показателя безопасности полетов, а также разработка программного обеспечения для расчета и мониторинга уровня безопасности полетов поставщиков авиационных услуг».

8. VII Международная научно-практическая конференция «Информационные технологии и инновации на транспорте», 17-20 Мая 2021 г., г. Орел, секция: «Техносферная безопасность на транспорте», тема: «Использование нечетких методов в практике управления безопасностью полетов авиапредприятия».

#### **Реализация результатов работы.**

1. Получены акты внедрения описанной в работе системы показателей БП в двух предприятиях операторах аэродромов РФ: Курскаэропорт и Нижний Новгород.

2. Разработаны и утверждены заместителем руководителя Федерального агентства воздушного транспорта (ФАВТ) от 03.12.2019 г. «Методические рекомендации территориальным органам Росавиации по проверкам систем управления безопасностью полетов поставщиков услуг. Часть II. Операторы сертифицированных аэродромов».

3. Разработана и зарегистрирована в Роспатенте программа для ЭВМ «Мониторинг КРОС (М-КРОС)». Программа позволяет выполнять расчеты показателя БП, применимого в производственной деятельности операторов аэродромов, его мониторинг и анализ.

**Публикации результатов исследования.** По теме работы опубликовано 6 статей (60 стр.), из их числа 4 статьи (42 стр.) в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, 1 статья (10 стр.) в журнале, рекомендованном ВАК и входящем в международную базу цитирования «Scopus» и 1 статья (8 стр.) в журнале, входящем в международную базу цитирования «Web of Science». Получено в Роспатенте одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Личный вклад** в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в том, что автором:

- проведен глубокий анализ проблем обеспечения безопасности полетов в производственной деятельности операторов аэродромов, в результате чего определены направления совершенствования СУБП;

- на основе обобщения опыта риск-менеджмента в авиакомпаниях разработана трехкомпонентная схема управления риском для БП, применимая в производственной деятельности оператора аэродрома с учетом его специфики;
- разработан показатель уровня безопасности полетов оператора аэродрома, позволяющий учитывать серьезность и потенциальную опасность авиационных событий и отклонений от установленных правил, норм и процедур и программа для ЭВМ для его автоматизированного расчета и мониторинга;
- разработан метод поддержки принятия решений по распределению средств, выделяемых на безопасность полетов, на основе решения двухкритериальной задачи с использованием сформированной автором многомерной регрессионной модели прогнозирования;
- обоснован и предложен метод оценки эффективности СУБП по результатам проверки соответствия требованиям Воздушного законодательства РФ, SARPs ИКАО и рекомендациям международных документов;
- разработан численный коэффициент эффективности СУБП, использование которого будет стимулировать операторов аэродромов на внедрение передовых практик по управлению БП.

**Структура и объем работы.** Основной текст диссертации изложен на 133 страницах и состоит из введения, четырех глав, с выводами по каждой из них, общих выводов по диссертации, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 112 наименований, дополняется тремя приложениями на 58 страницах, содержит 15 таблиц, 31 формулу и 32 рисунка.

#### **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* проведен анализ производственной деятельности оператора аэродрома по управлению безопасностью полетов. По данным Росавиации все происшедшие в 2019-ом году авиационные происшествия (АП) коммерческой авиации относятся к категории событий «Безопасность на ВПП» – грубая посадка (05.05.2019 – катастрофа самолета RRJ-95B RA-89098 в аэропорту Шереметьево); выкатывание на пределы ВПП при посадке (27.06.2019 – катастрофа самолета Ан-24РВ RA-47366 в аэропорту Нижнеангарск); столкновение с птицами при взлете (15.08.2019 – авария самолета А-321 VP-BOZ в районе аэропорта Раменское).

Также, рассмотрены инциденты и производственные происшествия, связанные с инфраструктурой и эксплуатацией аэродрома. Основными факторами, обусловившими события на аэродромах, можно выделить:

- посторонние предметы на ВПП и продукты разрушения искусственного покрытия ВПП;
- некачественная очистка ВПП от снега;
- отказ светосигнального оборудования ВПП;
- нарушение целостности разметки на ВПП и рулежных дорожках (РД);
- ошибки персонала в рутинных процедурах при подготовке ВС к вылету;
- неисправность аэродромной техники;
- недостатки в орнитологическом обеспечении, и т.д.

На основании пункта 2 статьи 49 Воздушного кодекса Российской Федерации «эксплуатацию аэродрома гражданской авиации, вертодрома гражданской авиации и их соответствие требованиям федеральных авиационных правил обеспечивает **оператор**, которым признается лицо, владеющее аэродромом гражданской авиации или вертодромом гражданской авиации на праве собственности, на условиях аренды или на ином законном

основании и эксплуатирующее такой аэродром или такой вертодром в целях обеспечения взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов».

В соответствии с выше приведенным определением оператор аэродрома обязан обеспечивать аэродром соответствии требованиям федеральных авиационных правил (ФАП). Сертификационные требования к операторам аэродромов приведены в ФАП-286: «Требования к операторам аэродромов гражданской авиации. Форма и порядок выдачи документа, подтверждающего соответствие операторов аэродромов гражданской авиации требованиям федеральных авиационных правил». Здесь же указано, что оператор аэродрома ГА разрабатывает и обеспечивает функционирование СУБП на аэродроме.

Процесс обеспечения СУБП в деятельности операторов аэродромов усложняется ввиду большого объема выполняемых ими задач. В работе рассмотрены основные виды деятельности операторов аэродромов, выявленные на основе анализа множества исследований данной области.

Отмечено, что некоторые виды деятельности могут обеспечиваться как самим оператором аэродрома, так и сторонними предприятиями по договорам об оказании соответствующих услуг. Такой подход значительно усложняет процесс управления БП. В связи с тем, что большинство видов аэропортовой деятельности осуществляются предприятиями и службами, юридически не входящими в состав оператора аэродрома, зачастую возникают проблемы эры настоящего времени – «Общесистемной эры», описанной в 4-ом издании Руководства по управлению безопасностью полетов (РУБП) ИКАО, Doc 9859.

Анализ опыта управления БП операторами аэродрома показал, что чаще всего операторы аэродромов ограничиваются общими рекомендациями ИКАО для всех поставщиков обслуживания. При оценке риска для БП используется матрица ИКАО, и её различные вариации с незначительными изменениями. Матрица ИКАО имеет множество недостатков и ограничений в использовании, среди которых:

1. Применение матрицы ИКАО достаточно субъективно, и в большей степени зависит от квалификации эксперта;
2. Над полученными качественными оценками невозможно производить математические операции;
3. Определенные трудности представляет процесс объединения или сравнения оценочных уровней риска для БП различных ФО;
4. Учитываются лишь две составляющие (вероятность и тяжесть), в то время, когда оцениваемый риск может характеризоваться и другими параметрами, и т.д.

В настоящее время наблюдается переоценка матрицы ИКАО, ее используют большинство специалистов и предприятий, не проявляя желания развиваться, и находить более совершенные методы оценки риска для БП.

Схожая ситуация касается методов оценки уровня БП. Используются относительные статистические показатели БП. Для операторов аэродромов ИКАО рекомендует рассчитывать такие показатели как:

- a) Кол-во происшествий на ВПП на тысячу взлетно-посадочных операций;
- b) Кол-во происшествий на ВПП со смертельным исходом на тысячу взлетно-посадочных операций;
- c) Кол-во происшествий на тысячу часов работы;
- d) Кол-во случаев несанкционированного занятия ВПП на тысячу взлетно - посадочных операций;
- e) Кол-во случаев столкновений с птицами на тысячу взлетно - посадочных операций.

Среди перечисленных отсутствует показатель, характеризующий общий уровень БП, учитывающий все виды событий. Наиболее приближенным к такому показателю используется коэффициент безопасности полетов относительно 1000 взлетно-посадочных операций (1):

$$K_{\text{БЕЗ}}^i = \left( \frac{n_{\text{АС}}^i}{N_{\text{ОП}}} \right) \times 1000, \quad (1)$$

где:  $N_{оп}$  - количество взлетно-посадочных операций за указанный период;

$n_{АС}^i$  - количество АС  $i$ -го типа, произошедших в результате ошибочных действий персонала аэропорта за указанный период.

Данный показатель также не учитывает все события с различной серьезностью и непригоден для небольших аэропортов, в деятельности которых АС являются редкими случаями.

Сделан вывод, что методы, применяемые операторами аэродромов сегодня, представляются допустимыми лишь на начальном этапе разработки СУБП. Для обеспечения ее постоянного совершенствования и развития требуется более совершенный подход к СУБП.

**Во второй главе** диссертации предлагаются и обосновываются метод оценки риска для БП и новый показатель уровня БП, применимые в производственной деятельности оператора аэродрома.

На основе опыта ARMS<sup>2</sup> разработана концепция трехкомпонентного управления риском для оператора аэродрома, схема приведена на рис. 1.

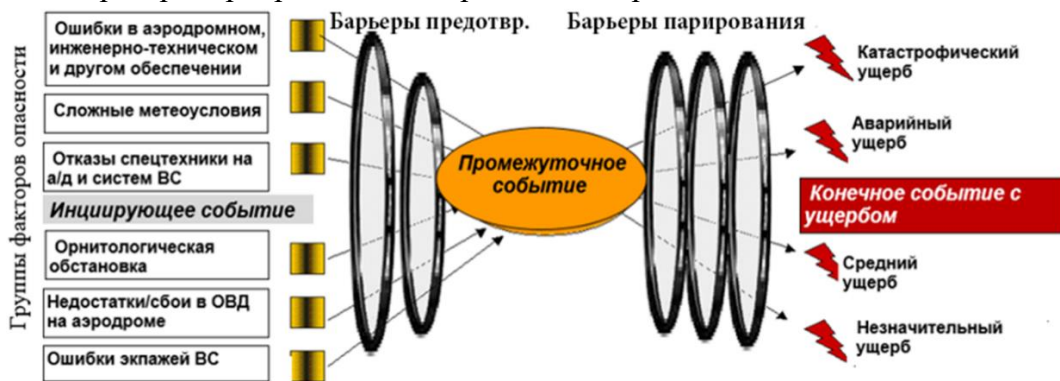


Рис. 1 - Схема развития АС

На данном рисунке представлена схема развития любого АС, адаптированная для деятельности операторов аэродромов, которая отражает ключевую роль предлагаемого третьего компонента риска. В различных источниках данный компонент называют по-разному: «живучесть», «стойкость системы», «защищенность» и т.д. Здесь компонент представлен в виде барьеров безопасности: «барьеров предотвращения» и «барьеров парирования». Данные барьеры получили свое развитие из известной модели Дж. Ризона «Швейцарский сыр».

В практической деятельности такие барьеры могут выражаться по-разному. Это могут быть правила или процедуры, используемые в авиационной деятельности, задача которых предотвратить развитие АС, или снизить тяжесть его последствий до возможного минимума. Может быть надежность техники, заложенная еще на этапе проектирования разработчиком авиационной техники. Или, например, какие-либо технические средства, в свою очередь тоже способствующие предотвращению дальнейшего развития АС с большим ущербом.

Использование данной концепции позволяет представить матрицу оценки риска для БП в виде трех взаимосвязанных матриц, представляющих матрицу оценки риска опасностей (матрицу ОРОП) (рис. 2).

В данной матрице помимо вероятности проявления опасности (выраженной частотой ее проявления), и тяжести последствия (выраженной в вероятном исходе события) выделяются еще «барьеры безопасности» (частота отказов барьеров предотвращения и парирования).

Определенный по матрицам слева буквенно-цифровой индекс является входной информацией для итоговой матрицы оценки уровня риска опасности. Здесь, результатом оценки является уже знакомый из Матрицы ИКАО принцип цветовой градации. Используется расширенная схема с 5-ю цветами, значения которых для операторов аэродромов могут быть такими, как приведено на рис. 3.

<sup>2</sup> Группа «ARMS» (Airline Risk Management Solutions), сформированная при EASA для решения проблем управления риском для БП в авиакомпаниях.

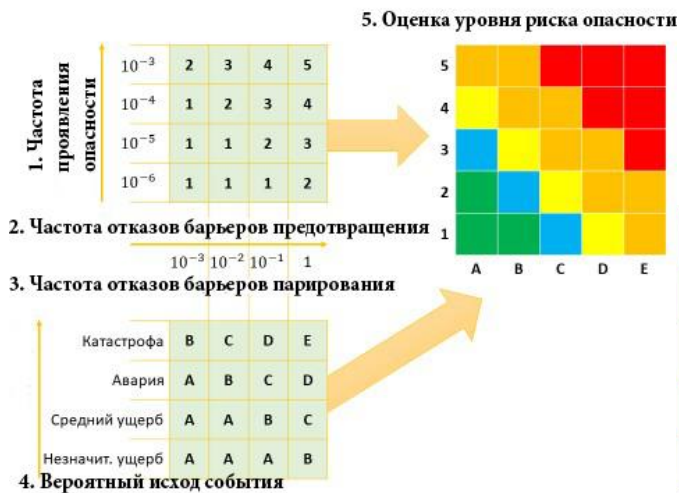


Рис. 2 - Реализация на плоскости трехкомпонентной матрицы оценки риска опасности (Матрица ОРОП)

Прекращение данной деятельности или срочные корректирующие действия – решение Генерального директора
Срочные предупреждающие мероприятия – решение Заместителя генерального директора по БП
Корректирующие мероприятия – решения руководителей подразделений аэропорта
Наблюдение за ситуацией – внимание к данной Опасности эксперта по риску
Риск пренебрежимо мал – действий по данной Опасности не требуется

Рис. 3 - Выбор действий в результате оценки по матрице ОРОП

Преимущество перед методом «матрицы ИКАО» состоит в том, что в данном методе непосредственно учитываются оценки барьеров безопасности, способность системы противодействовать факторам опасности.

Также, используя подход с оценкой барьеров безопасности, в работе предлагается метод по оценке общего уровня БП оператора аэродрома. Он основан на оценке «риска прошлых событий», событий, которые уже были ранее в деятельности оператора аэродрома. При этом, в качестве оцениваемых событий принимают не только АС, принятые согласно классификации в ПРАПИ-98, но и менее значительные отклонения от установленных правил и процедур – «Предвестники», т.е. события, которые не категоризируются как АС, и расследуются внутри предприятия для учета риска возникновения таких-же и более серьезных событий в будущем. Такой подход объясняется тем, что высокая повторяемость предвестников делает информацию о них весьма привлекательной для оценок и статистических анализов в условиях малых объёмов информации.

Выполняется оценка того риска для БП, который был в данном оцениваемом событии именно в тот момент, когда оно происходило. При этом стоит учитывать, что часть барьеров были неэффективны («сломаны» ранее), и имеют значение только те, которые остались, и насколько они повлияли на более благополучный исход. По итогам оценки все события категоризируются согласно табл. 2. Данная оценка должна выполняться опытными экспертами по направлениям деятельности оператора аэродрома.

Табл. 2. - Оценка риска прошлых событий

Категория риска	Весовой коэффициент категории риска ( $K_r$ )	Название категории риска	Описание категории риска
А	2	Критический риск	Имеется реальная предпосылка к АС, остановке ВС, приостановке действия сертификата оператора аэродрома. <b>Барьеры неэффективны.</b>
В	1	Значительный риск	Скрытый ФО, может привести к АС, замечаниям, задержке рейса. <b>Барьеры малоэффективны.</b>
С	0,25	Незначительный риск	Ситуация под контролем, но нужно учитывать при мониторинге индекса КРОС. <b>Эффективность барьеров высокая.</b>

Весовые коэффициенты категорий риска ( $K_r$ ) заимствованы из расчета «показателя риска», принятого при проверках по программе SAFA<sup>3</sup>.

Исходя из имеющихся данных категорирования событий по табл. 2 расчет показателя уровня БП –  $S_{PI}$  (Safety Performance Indicator) – коэффициента риска отклонений и событий (КРОС), за любой отчетный период выполняется по формуле:

$$S_{PI} = \frac{0,25 \times n_C + n_B + 2 \times n_A}{N_i}, \quad (2)$$

где:  $S_{PI}$  – численный показатель уровня БП (показатель КРОС) в  $i$ -ом периоде (месяц, неделя);

$n_A, n_B$  и  $n_C$  – количество событий по категориям риска, определенных по табл. 2;

$N_i$  – общее количество операций в  $i$ -ом периоде (для операторов аэродромов целесообразно использовать кол-во взлетно-посадочных операций).

Также, возможен расчет численного показателя риска прошлого события (показателя КРОС, обозначенного как  $S_{PI1}$ ) для одного отдельно взятого события. Тогда, формула расчета принимает следующий вид:

$$S_{PI1} = \frac{K_r}{N_i}. \quad (3)$$

Расчет показателя  $S_{PI1}$  позволяет группировать (суммировать) значения риска прошлых событий, получая частные значения по отдельным видам деятельности. В дальнейшем, такой подход позволит анализировать, сравнивать и выявлять уязвимые места в производственной деятельности оператора аэродрома.

Согласно рекомендациям ИКАО для показателя БП необходимо задавать целевой уровень на следующий год. Чаще всего это выполняется на основе данных, полученных за несколько предыдущих лет. Формула расчета целевого уровня показателя  $S_{PI}^T$  (Safety Performance Indicator Target) имеет вид:

$$S_{PI}^T = S_{PI}^{Avg} \times 0,95, \quad (4)$$

$$S_{PI}^{Avg} = \frac{\sum S_{PIi}}{n}, \quad (5)$$

где:  $S_{PI}^{Avg}$  – средний показатель КРОС за прошедший рассчитываемый период;

$n$  – кол-во месяцев прошлых лет (рекомендуется использовать не менее 36 мес.);

$S_{PIi}$  – ежемесячный показатель КРОС за  $i$ -ый месяц прошлых лет.

Как видно, ИКАО рекомендует задавать цель, как средний показатель БП за прошедшие годы сниженный на 5%. Таким образом задается базовый уровень, которого необходимо придерживаться. Незначительные превышения данного уровня еще не являются сигналами того, что цель не выполнена. Приемлемые отклонения от цели определяются пороговыми уровнями.

ИКАО рекомендует определять два пороговых уровня (предупредительный -  $S_{PI}^1$  и опасный -  $S_{PI}^2$ ), превышение которых будет сигналом о существовании проблем в обеспечении БП. По аналогии с целью, пороговые уровни  $S_{PI}^1$  и  $S_{PI}^2$  задаются на основе данных за прошлые годы:

$$S_{PI}^1 = S_{PI}^T + \sigma, \quad (6)$$

$$S_{PI}^2 = S_{PI}^T + 2 \times \sigma, \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (S_{PI}^{Avg} - S_{PIi})^2}{n - 1}}, \quad (8)$$

где:  $\sigma$  – среднее квадратическое (стандартное) отклонение.

Превышение показателем первого - «Предупредительного» уровня является сигналом для необходимости анализа и выяснения причины ухудшения БП, а также своевременного

<sup>3</sup> SAFA (Safety Assessment of Foreign Aircraft) Ramp Inspection's Guidance Material. Ver. 2,0, EASA, July 2012.

принятия необходимых мер по снижению показателя. Второй - «Опасный» уровень является критическим, превышение которого требует принятия срочных и серьезных мер по выяснению причин и снижению показателя до приемлемого уровня.

Для упрощения выполнения расчетов предлагаемого показателя БП – КРОС, а также выполнения его мониторинга по представленной стратегии, в рамках настоящего исследования автором разработана программа для современных ЭВМ на базе операционной системы Windows - «Мониторинг КРОС (М-КРОС)» (далее сокращенно «М-КРОС» или «программа»).

Структурно программа состоит из локальной реляционной базы данных (БД) на базе системы управления базами данных (СУБД) Microsoft Access, и пользовательского интерфейса, написанного на языке программирования Microsoft Visual Basic. Связь между данными структурными компонентами осуществляется посредством запросов на языке SQL.

Для начала работы пользователю необходимо внести все события в БД программы (рис. 4.). На данном этапе, событию присваивается «Категория риска» определенная экспертами, согласно критериям категорирования, представленным в табл. 1. В дальнейшем, все данные о событии можно будет редактировать в такой же форме редактора.

Также, в БД программы вносятся данные о количестве операций, относительно которых выполняется расчет (см. формулы 2, 3), и дополнительные данные, необходимые для дальнейшего анализа. Дальнейший расчет показателя БП – КРОС программа выполняет автоматически. Пример вывода общих ежемесячных значений КРОС в программе (рассчитанных по формуле 2) показан на рис. 5.

Программа «М-КРОС» также, позволяет выполнять мониторинг показателя КРОС, как рекомендует ИКАО (формулы 4 - 8), что реализовано на «Экране мониторинга» в виде «Светофорной модели». На рис. 6 приведен пример такого экрана мониторинга с использованием условных произвольных данных для отображения наглядности. В таком виде отображения уровня БП наглядно видно, в какой период показатель был в зоне приемлемости (зеленая зона), а в какой выходил за ее пределы, находясь в зонах первого и второго порогового уровня (желтая и красная зона графика).

Программа позволяет выполнить первичный анализ существующих проблем, послуживших ухудшению уровня БП. Например, исходя из приведенного примера (рис. 6), представляется возможным и целесообразным выяснить направление деятельности, повлиявшее в большей степени на значительное ухудшение БП в августе. Реализуется это благодаря возможности отображения диаграммы по службам и месяцам (рис. 7).

Программа «Мониторинг КРОС (М-КРОС)» является зарегистрированным продуктом, правообладателем которого является МГТУ ГА. Применение программы возможно любым поставщиком авиационных услуг.

Рис. 4 - Редактор событий. Форма добавления нового события в БД программы

Рис. 5 - Форма вывода табличных ежемесячных значений КРОС в программе

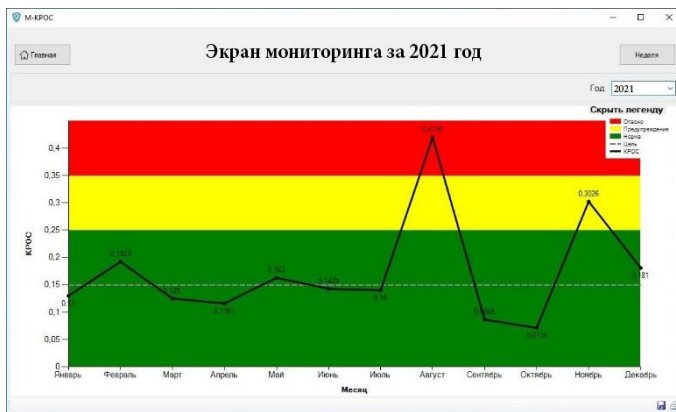


Рис. 6 - Экран мониторинга в программе М-КРОС с учетом рекомендаций ИКАО

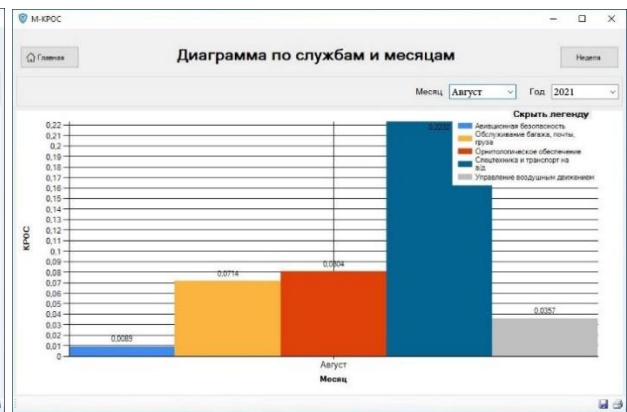


Рис. 7 - Диаграмма по службам и месяцам в программе М-КРОС

**В третьей главе** представлена методика оптимизации управленческих решений в области обеспечения БП.

Основная цель СУБП – предотвращение авиационных происшествий посредством поддержания рисков их возникновения на приемлемом уровне. Данная цель достигается благодаря внедрению мероприятий по управлению производственными процессами, которые должны уменьшить риски, т.е. снизить (или приостановить возрастание) влияния факторов опасности. Именно такие решения, принятые руководством аэродрома, будем называть «Управленческими решениями» (УР). Ввиду наличия высокой неопределенности эффективности внедрения УР в деятельность оператора аэродрома, возникает необходимость в научной обоснованности или в методе поддержки принятия таких решений.

Предлагаемая в работе методика поддержки УР заключается в их оптимизации по двум критериям:

1. По показателю БП, характеризующему общий уровень БП оператора аэродрома ( $S_{PI}$  - (Safety performance indicator));
2. По показателю финансовых ущербов от авиационных событий (АС) в деятельности оператора аэродрома ( $L$  – Losses).

Данная методика заключается в сочетании трёх научных направлений: регрессионный анализ, экспертные оценки и метод «человеко-машинных процедур» теории принятия решений. Общий алгоритм методики оптимизации УР представлен на рис. 8. Далее приводится наглядное пояснение методики по этапам приведенного алгоритма с применением близких к реальным исходных данных.



Рис. 8 - Алгоритм методики оптимизации управленческих решений

Исходными данными для построения регрессионных моделей являются события, имевшие место на аэродроме за прошлые годы, а также ежемесячные значения показателей  $S_{PI}$  и  $L$ . В качестве  $S_{PI}$  может служить показатель БП – КРОС (коэффициент риска отклонений и событий), представленный в настоящей работе ранее. Показатель  $L$  может быть рассчитан по принятой на предприятии методике, он отражает финансовый ущерб (в денежном эквиваленте), который предприятие понесло в результате происхождения прошлых событий.

Для выполнения количественной оценки влияния факторов опасности (ФО) выделяется шесть основных групп ФО, которые отражают ошибки и недостатки по видам эксплуатационной деятельности на аэродроме:

1. **AS** (Aerodrome support) – в аэродромном обеспечении;
2. **SET** (Special equipment and transport) – в работе спецтехники и транспорта на а/д;
3. **ATC** (Air traffic control) – в управлении воздушным движением на а/д;
4. **OP** (Ornithological provision) – в орнитологическом обеспечении;
5. **BCH** (Baggage cargo handling) – в обслуживании багажа, почты, груза;
6. **SEC** (Security) – в обеспечении авиационной безопасности.

Данный набор групп ФО принят оптимальным для операторов аэродромов по результатам проведения экспертных опросов в двух аэродромах РФ, проведенных в рамках настоящего исследования.

Оценка влияния ФО выполняется опытными экспертами по направлениям деятельности оператора аэродрома в отношении каждого имевшего место события за прошлый период. Предлагается выполнять оценку по методу непосредственного оценивания по десяти бальной шкале. Исходные данные с оценками влияния ФО сводятся в таблицу, пример фрагмента которой приведен на рис. 9. Если рассматривать только предыдущий год (12 мес.), то общую таблицу исходных данных, группированных по месяцам можно представить в виде таблицы, пример которой приведен на рис. 10.

На основе исходных данных выполняется регрессионное моделирование показателей  $S_{PI}$  и  $L$ . Идея регрессионного анализа заключается в составлении уравнения регрессии. Общее уравнение множественной линейной регрессии, как известно, имеет вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_i X_i + \dots + \beta_n X_n + e, \quad (9)$$

где:  $Y$  – зависимая переменная регрессионной модели;

$X_i$  – независимые переменные;

$\beta_0$  и  $\beta_i$  – коэффициенты регрессии;

$e$  – случайная ошибка.

Так как, методика поддержки принятия УР заключается в оптимизации по двум критериям, для каждого показателя критерия составляется свое уравнение регрессии.

№	Дата	Обстоятельства события	Показатели (критерии)		Обобщенные факторы опасности и экспертные оценки их влияния						
			$S_{PI}$	$L$	AS	SET	ATC	OP	BCH	SEC	
1	11.01	Машина САБ сломана, на перекрытие выезжала машина АС		1500	1	3					3
2	17.01	На РД маркеры ССО местами засканы снегом		600	6		1				
3	29.01	Пересечение багажной тележки зантов РД (задержка рейса).		2000			2			8	
Итого январь			0,754	4100	7	3	3	0	8	3	
4	12.02	Переносные р/ст на ПА СПАСОП не работают на передачу		0			1				
5	20.02	Собака на перроне		0	1		1	1			1
6	25.02	Попадание мелкой птицы в отсек ПРОШ (на взлете).		6000			1		6		
Итого февраль			0,515	6000	1	0	3	7	0	1	

Рис. 9 - Фрагмент исходных данных (пример на основе реальных данных)

Исходные данные	Исходные данные								
	Месяц	$S_{PI}$	$L$	AS	SET	ATC	OP	BCH	SEC
Январь	0,754	4100	7	3	3	0	8	3	
Февраль	0,515	6000	1	0	3	7	0	1	
Март	0,368	1200	0	1	4	4	0	0	
Апрель	0,294	0	1	0	1	0	2	0	
Май	0,405	5300	2	1	3	7	2	0	
Июнь	0,129	2000	0	1	5	0	0	0	
Июль	0,147	500	0	0	3	0	2	1	
Август	0,129	800	0	0	4	2	0	0	
Сентябрь	0,423	6110	2	1	9	0	0	0	
Октябрь	0,257	0	0	0	0	1	0	0	
Ноябрь	0,386	0	0	3	0	0	0	0	
Декабрь	0,349	5590	1	4	6	0	0	0	

Рис. 10 – Исходные данные за 1 год по месяцам (пример, на основе реальных данных)

Для показателя  $S_{PI}$  уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$S_{PI} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_6 X_6 + e. \quad (10)$$

Для показателя  $L$  – аналогично, поэтому здесь и далее приводится только для  $S_{PI}$ .



указываются столбцы с зависимыми и независимыми переменными моделей, из таблицы исходных данных, а программа сама выполняет расчет и построение моделей. При использовании исходных данных рис. 10 результат расчетов выводится в том виде, как показано на рис. 11.

Итоги регрессионной модели для показателя SPI (Safety performance indicator)						
R= .95044945 R <sup>2</sup> = 0.90335415						
Скорректированный Adjusted R <sup>2</sup> = 0.78737913						
N=12	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(5)	p-value
<b>Intercept</b>			0,281991	0,064340	4,38279	0,007136
AS	1,44574	0,461960	0,129607	0,041413	3,12959	0,025970
SET	0,18609	0,174195	0,023684	0,022169	1,06831	0,334220
ATC	-0,30767	0,184020	-0,021643	0,012945	-1,67196	0,155395
OP	0,20519	0,163767	0,013403	0,010697	1,25292	0,265637
BCH	-1,00523	0,492032	-0,077092	0,037734	-2,04302	0,096497
SEC	0,31380	0,293056	0,062253	0,058138	1,07077	0,333214
Итоги регрессионной модели для показателя L (Losses)						
R= 0,93457158 R <sup>2</sup> = 0.87342403						
Скорректированный Adjusted R <sup>2</sup> = 0.72153287						
N=12	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(5)	p-value
<b>Intercept</b>			-520,947	1059,050	-0,49190	0,643623
AS	0,908097	0,528675	1170,890	681,668	1,71768	0,146499
SET	0,174757	0,199352	319,888	364,907	0,87663	0,420804
ATC	0,431384	0,210595	436,465	213,075	2,04841	0,095837
OP	0,428934	0,187418	402,978	176,077	2,28865	0,070769
BCH	-0,760775	0,563090	-839,169	621,113	-1,35107	0,234588
SEC	0,166206	0,335378	474,248	956,958	0,49558	0,641202

Рис. 11 - Итоги построения регрессионных моделей в программе STATISTICA

Коэффициенты регрессии ( $\beta_0$  и  $\beta_i$ ) в данных таблицах сведены в столбцах «b». Также, в шапке таблиц показаны значения коэффициента детерминации ( $R^2$ ) и скорректированного коэффициента детерминации (Adjusted  $R^2$ ), являющиеся оценкой адекватности моделей.

На основе рассчитанных регрессий можно выполнить прогноз показателей SPI и L на следующий год. Если использовать в качестве значений независимых переменных средние из исходных данных, то прогноз показателей в программе STATISTICA будет иметь вид (рис. 12):

Variable	Predicting Values variable: SPI (Safety performance indicator)			Variable	Predicting Values variable: L (Losses)		
	b-Weight	Value	b-Weight * Value		b-Weight	Value	b-Weight * Value
AS	0,129607	1,166700	0,151212	AS	1170,890	1,166700	1366,078
SET	0,023684	1,166700	0,027632	SET	319,888	1,166700	373,213
ATC	-0,021643	3,416700	-0,073949	ATC	436,465	3,416700	1491,269
OP	0,013403	1,750000	0,023455	OP	402,978	1,750000	705,211
BCH	-0,077092	1,166700	-0,089944	BCH	-839,169	1,166700	-979,058
SEC	0,062253	0,416700	0,025941	SEC	474,248	0,416700	197,619
Intercept			0,281991	Intercept			-520,947
Predicted			0,346337	Predicted			2633,385
-95,0%CL			0,285221	-95,0%CL			1627,403
+95,0%CL			0,407454	+95,0%CL			3639,368

(а)

(б)

Рис. 12 - Прогноз по средним показателям в программе STATISTICA

а) Для SPI ; б) Для L

Заданные средние значения независимых переменных ( $M_i$  ср.) на рис. 12 сведены в столбцах «Value», а рассчитанные прогнозные значения зависимых переменных моделей (показателей SPI и L) показаны в строке «Predicted». Далее после прогнозов указаны значения доверительных интервалов +/- 95%. Для решения рассматриваемой задачи целесообразно

принимать значение верхней границы доверительного интервала по вероятности 0,95. В этом случае можно быть уверенным в результате на 95%.

Формирование перечня УР выполняется руководством аэродрома ежегодно. Он представляет собой перечень мероприятий, которые предполагается реализовать в будущем, с указанием их стоимости и сроков внедрения. Их эффективность, т.е. степень влияния на ФО, необходимо оценить экспертно.

В работе предлагается выполнять оценку по методу, схожему с методом фон Неймана–Моргенштерна, методом непосредственных оценок, а также с методом, использованным для выбора наиболее эффективных мероприятий повышения БП группой CAST (США). Выполняется количественная оценка влияния каждого УР на снижение каждого из ФО, используя критерии экспертных оценок, приведенные в табл. 3.

Табл. 3. - Критерии экспертных оценок влияния УР на ФО

Процентное влияние на ФО	Пояснение
100 %	Максимальное влияние на ФО. Полностью исключает возможность возникновения ФО после внедрения УР <i>(на практике невыполнимо, приведено для формирования понимания принципа экспертного оценивания)</i> .
50 %	После внедрения УР вероятность проявления ФО снижена в 2 раза.
5 %	УР внесет серьезный вклад в снижение влияния ФО.
3 %	УР внесет средний вклад в снижение влияния ФО.
1 %	УР внесет небольшой вклад в снижение влияния ФО.
0,5 %	Минимальное влияние на ФО. УР внесет незначительный вклад в снижение влияния ФО.

Для примера в табл. 4 приведены данные о возможных УР с указанием их стоимости внедрения (в у.е. денежного эквивалента), и процентном влиянии на ФО (коэффициенты эффективности УР -  $K_{ij}$ , оцененные экспертно на основании критериев табл. 3).

Табл. 4. – Перечень УР с указанием их стоимости внедрения и коэффициентами эффективности в отношении ФО оператора аэродрома (пример)

Название управленческого решения (УР)	Стоимость УР, уе.	Коэффициенты эффективности ( $K_{ij}$ )					
		AS	SET	ATC	OP	BCH	SEC
1. Обновить разметку на аэродроме (РД и ВПП)	400	0,015	0,035	0,015	0,01	0,005	0,005
2. Разработать автоматизированную программу для ЭВМ обмена данными	160	0	0	0,005	0,01	0,005	0
3. Совершенствовать технологию взаимодействия УВД и службы орнитологического обеспечения	260	0	0	0,02	0,02	0	0
4. Приобрести радиостанции	500	0	0,035	0,01	0,005	0,01	0,005
5. Провести КПК (обучение) взаимодействующих служб	300	0	0,035	0,005	0,005	0,005	0,005
6. Ремонт покрытия ВПП и РД	3000	0,015	0,015	0,005	0,05	0,005	0
7. Установить ограждение от водоема	250	0	0,005	0,02	0,01	0	0
8. Приобрести спец. технику (комплектующие и прочее)	1500	0	0,01	0,05	0,01	0	0
9. Ремонт/совершенствование аэродромной тележки	400	0,005	0,005	0	0,01	0	0

Исходя из выше приведенных данных, представляется возможным скорректировать среднемесячные (из исходных данных) коэффициенты  $M_{i\text{cp}}$  вклада каждого ФО в показатель после внедрения каждого УР, используя формулу:

$$M_{ij} = M_{i\text{CP}} - M_{i\text{CP}} K_{ij} = M_{i\text{CP}}(1 - K_{ij}), \quad (18)$$

где:  $M_{ij}$  – скорректированные значения ФО с учетом внедрения УР;

$M_{i\text{CP}}$  - среднемесячные значения ФО из исходных данных;

$K_{ij}$  – коэффициенты эффективности управленческих решений.

Используя регрессионные модели, созданные ранее, можно спрогнозировать показатели  $S_{PI}$  и  $L$  на следующий год с учетом внедрения каждого УР, введя в модели скорректированные значения ФО (как независимые переменные модели).

Изменения показателей  $\Delta S_{PI}$  и  $\Delta L$  можно посчитать по формулам:

$$\Delta S_{PIj} = S_{PI0} - S_{PIj}; \quad \Delta L_j = L_0 - L_j, \quad (19)$$

где:  $S_{PI0}/L_0$  – верхняя граница доверительных интервалов (+95%CL) показателей без учета внедрения УР;

Для решения поставленной двухкритериальной задачи оптимизации УР, представим два критерия эффективности УР:

$$C_1^j = \frac{\Delta S_{PIj}}{Q_i}; \quad C_2^j = \frac{\Delta L_j}{Q_j}, \quad (20)$$

где:  $Q_j$  – стоимость  $j$ -го УР.

Значения критериев эффективности рассчитываются для каждого УР.

Далее, необходимо выполнить расчеты нормированных значений. Для критерия  $C_1$  нормированное значение  $C_1^{j*}$  рассчитывается как:

$$C_1^{j*} = \frac{C_1^j - \min C_1^j}{\max C_1^j - \min C_1^j}, \quad (21)$$

где:  $\max C_1^j$  и  $\min C_1^j$  - максимальное и минимальное значение критерия.

Для критерия  $C_2^{j*}$  расчет выполнять аналогично, так как оба критерия (показатели  $S_{PI}$  и  $L$ ) целесообразно снижать.

Из метода человеко-машинных процедур теории принятия решений, описанного академиком Ларичевым О. И., целесообразно определить весовые коэффициенты важности критериев  $w_1$  и  $w_2$ , сумма которых должна равняться единице. Каждый оператор аэродрома в праве определить самостоятельно важности критериев и соотношение между ними. В данном примере предположим, что оператор аэродрома определяет приоритет критериев как  $w_1=0,6$ ;  $w_2=0,4$ , вынося повышение уровня БП на первый план. При этом условие  $w_1+w_2=1$  выполняется.

Тогда можно выполнить расчет комплексных критериев  $C^j$  для каждого УР используя формулу:

$$C^j = C_1^{j*} w_1 + C_2^{j*} w_2. \quad (22)$$

По результатам выполнения расчетов производится оценка значений комплексных критериев. Для удобства целесообразно сортировать УР по убыванию значения  $C^j$  (табл. 5).

Табл. 5. – Ранжирование УР по степени оптимизации

п/п	Управленческое решение	Стоимость	Комплексный критерий
1	1. Обновить разметку на аэродроме (РД и ВПП)	400	<b>0,945</b>
2	9. Ремонт/совершенствование аэродромной тележки	400	<b>0,519</b>
3	5. Провести КПК (обучение) взаимодействующих служб	300	<b>0,474</b>
4	3. Совершенствовать технологию взаимодействия УВД и службы орнитологического обеспечения	260	<b>0,432</b>
5	7. Установить ограждение от водоема	250	<b>0,362</b>
6	6. Ремонт покрытия ВПП и РД	3000	<b>0,352</b>
7	4. Приобрести радиостанции	500	<b>0,282</b>
8	8. Приобрести спец. технику (комплектующие и прочее)	1500	<b>0,236</b>
9	2. Разработать автоматизированную программу для ЭВМ обмена данными	160	<b>0,158</b>

В результате формируется перечень УР с указанием степени целесообразности внедрения каждого из них. Низкая степень целесообразности означает, что внедрение этого решения повлечет слишком большие финансовые затраты, не оказав равноценно существенного влияния на улучшение БП. Также, данное ранжирование УР можно интерпретировать как оптимальную очередность их внедрения в деятельность оператора аэродрома при временных финансовых ограничениях.

**В четвертой главе** приведены результаты разработки методики проведения проверки СУБП операторов аэродромов. Также, разработана методика оценки эффективности СУБП по результатам данной проверки. Под эффективностью СУБП в настоящей работе понимается степень соответствия СУБП воздушному законодательству РФ, SARP's ИКАО и лучшим международным практикам.

Проверка СУБП проводится в рамках проверки поставщиков услуг на соответствие сертификационным требованиям в соответствии с требованиями нормативных правовых актов РФ. Согласно разработанной методике проверка выполняется с использованием контрольных вопросов проверки (далее - КВП).

Ранее проверки СУБП операторов аэродромов проводились лишь в комплексе на общее соответствие сертификационным требованиям, изложенным в ФАП-286, согласно карте проверки оператора аэродрома гражданской авиации. В ней присутствует лишь 10 пунктов проверки, относящихся непосредственно к СУБП, что является крайне малым исходным материалом для возможности вынесения заключения о соответствии СУБП оператора аэродрома всему законодательству РФ.

Проверка СУБП по разработанной в диссертации методике выполняется согласно перечню КВП, общее количество которых для операторов аэродромов РФ – 27. Они основаны на различных нормативно-правовых актах, и имеют соответствующие статусы:

А) Статус «Требование» имеют КВП, основанные на воздушном законодательстве РФ, выполнение которых операторами аэродромов РФ является обязательным;

Б) Статус «Рекомендация» имеют КВП, основанные на SARP's ИКАО, РУБП ИКАО и других передовых международных практиках, выполнение которых операторами аэродромов РФ не является обязательным.

Также, все КВП структурированы и имеют уникальный индекс, как показано на рис. 13.

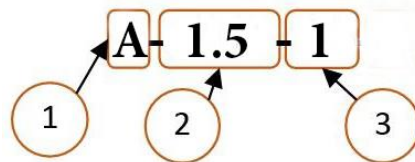


Рис. 13 – Принцип формирования уникального индекса КВП

Первая буква (1) указывает тип поставщика услуг. Указание применимости к поставщику услуг образовалось в связи с тем, что методические рекомендации содержат КВП не только для операторов аэродромов. Для операторов аэродромов принято обозначение – «А».

Следующие за буквой цифры имеют следующее значение.

Первая цифра (2) обозначает принадлежность КВП к компоненту и элементу концептуальных рамок СУБП ИКАО.

Последняя цифра (3) указывает порядковый номер КВП, относящийся к данному элементу. Например, если КВП имеет индекс как в данном примере А-1.5-1 это означает, что данный КВП относится к проверке СУБП оператора аэродрома, проверка будет выполняться в отношении соответствия требований по первому компоненту «Политика и цели обеспечения БП», пятому элементу «Документация по СУБП» этого компонента, и это первый по порядку КВП.

Пример КВП приведен на рис. 14.

Порядковый номер КВП по сквозной нумерации	№ 10	A-1.5-1	Статус: Требование	Статус КВП
Уникальный индекс КВП	Оператор аэродрома создает систему документации, в соответствии с которой функционирует система управления безопасностью полетов, соответствующую требованиям воздушного законодательства Российской Федерации.			Основной текст КВП (условие)
Ссылки на документы, послужившие основанием КВП	Нормативные ссылки: Постановления Правительства от 18.11.2014 года №1215, п. 3; ФАП-286, п. 61, раздел 5.2 (з)			Действия аудитора
Отметка аудитора по факту документирования условия КВП	<p>Действия аудитора</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Убедиться, что оператор аэродрома разработал и утвердил перечень документов, включающих в себя процессы и процедуры функционирования СУБП.</li> <li>2. Документация по СУБП соответствует масштабам деятельности оператора аэродрома (документация может состоять как из отдельных документов, так и являться составной частью других документов или документация оператора аэродрома).</li> <li>3. Перечень документации описывает все компоненты системы управления безопасностью полетов в соответствии с требованиями Постановления Правительства РФ от 18.11.2014 года №1215.</li> <li>4. Документация находится в актуальном состоянии.</li> <li>5. Проверить отметки об ознакомлении руководителей с документацией по системе управления безопасностью полетов.</li> <li>6. Убедиться, что документация по безопасности полетов хранится в местах (в том числе в электронном виде), доступных для сотрудников оператора аэродрома. (МР)</li> </ol>			
Ссылки на документы поставщика услуг	Документировано <input type="checkbox"/> Да <input type="checkbox"/> Нет <input type="checkbox"/> Не проверялось		Внедрено <input type="checkbox"/> Да <input type="checkbox"/> Треб. корр. <input type="checkbox"/> Нет <input type="checkbox"/> Не проверялось	
Комментарий поставщика услуг	Подтверждающая документация			
	Выявленные несоответствия и/или замечания			
	Комментарии поставщика услуг			
	Текст по факту выявления несоответствий или замечаний проверяющего			

Рис. 14 – Пример КВП оператора аэродрома (с пояснениями)

В ходе проверки соответствия основному тексту КВП проверяющему предлагается сделать отметки в соответствующих полях по фактам его документирования и внедрения.

В ходе разработки КВП операторов аэродромов РФ было выделено:

- 20 контрольных вопросов со статусом «Требование»;

- 7 контрольных вопроса со статусом «Рекомендация», из них 4 на основе рекомендаций ИКАО, и 3 на основе других международных организаций.

По результатам проведения проверки предлагается оценивать эффективность СУБП на основе проверки уровня внедрения требований воздушного законодательства РФ, а также Стандартов ИКАО и рекомендаций РУБП ИКАО и других международных организаций. Все они формируют полный перечень КВП. При этом приоритетным является выполнение требований воздушного законодательства РФ. Также необходимо различать значимость выполнения Стандартов ИКАО и рекомендаций.

Кроме того, во всех КВП устанавливается два вида соответствия требованиям и рекомендациям: «соответствие» (полное соответствие) и «соответствие с необходимостью корректировки». Соответственно, в формулу расчета коэффициента эффективности  $K_{эфф}$  результаты соответствия разным требованиям и рекомендациям, а также разные виды соответствий должны входить с разными весовыми коэффициентами.

С учетом приведенных соображений предлагается следующая формула расчета:

$$K_{эфф} = \frac{E_C K_1 + T_{СК} K_2}{(N_T - N_{ТН})} + \frac{P_C K_3 + P_{СК} K_4}{(N_C - N_{СН})} + \frac{P_P K_5 + P_{РК} K_6}{(N_P - N_{РН})}, \quad (23)$$

где:  $T_C$  – количество соответствий требованиям;

$T_{СК}$  – количество соответствий требованиям с условием необходимых корректировок;

$N_T$  – общее количество требований;

$N_{ТН}$  – количество требований, которые не проверялись в ходе данной проверки;

$P_C$  – количество соответствий рекомендациям, основанным на Стандартах ИКАО;

$P_{СК}$  – количество соответствий рекомендациям, основанным на Стандартах ИКАО с условием необходимых корректировок;

$N_C$  – общее количество рекомендаций, основанных на Стандартах ИКАО;

$N_{СН}$  – количество рекомендаций, основанных на Стандартах ИКАО, которые не проверялись в ходе проверки;

$P_p$  – количество соответствий рекомендациям, основанным на рекомендациях ИКАО, а также на положениях документов ИАТА и других организаций;

$P_{pk}$  – количество соответствий рекомендациям, основанным на рекомендациях ИКАО и других организаций, с условием необходимых корректировок;

$N_p$  – общее количество рекомендаций, основанных на рекомендациях ИКАО и других организаций;

$N_{pn}$  – количество рекомендаций, основанных на рекомендациях ИКАО (а также других организаций), которые не проверялись.

На первоначальном этапе предлагаются следующие значения весовых коэффициентов:

$$K_1 = 20; \quad K_2 = 10; \quad K_3 = 4; \quad K_4 = 1; \quad K_5 = 2; \quad K_6 = 0,5.$$

Весовые коэффициенты формировались как эмпирические по результатам совещаний и пробных расчетов, а также на основе обсуждений со специалистами авиапредприятий и государственных организаций, занимающихся вопросами СУБП. Предполагается, что эти коэффициенты могут корректироваться с учетом накапливаемого опыта проверок.

Для оценки эффективности СУБП в зависимости от значения  $K_{эфф}$  предлагается три уровня эффективности СУБП с учетом принятых значений коэффициентов  $K_1 \dots K_6$  (табл. 6).

Табл. 6 – Критерии оценки эффективности СУБП

Коэффициент эффективности $K_{эфф}$	Эффективность СУБП
10,0 – 20,0	Приемлемая
20,1 – 22,0	Средняя
Более 22,0	Хорошая

Коэффициент эффективности рассчитывается только при соответствии СУБП воздушному законодательству РФ. Если предприятие выполняет все требования в полном объеме, но не выполняет ни одной рекомендации, то эффективность (по формуле 23) не может быть больше 20 (приемлемая).

Логика выставления таких критериев оценки коэффициента эффективности легко объясняется. Минимально приемлемая эффективность ( $K_{эфф}=10$ ), если выполнять только требования ( $P_c=P_{ск}=P_p=P_{рс}=0$ ), достигается при соотношении  $T_c$  и  $T_{ск}$ , удовлетворяющем системе:

$$\begin{cases} \frac{20T_c + 5T_{ск}}{N_T - N_{ТН}} \geq 10; \\ T_c + T_{ск} = N_T - N_{ТН} \end{cases} \quad (24)$$

Тогда, решение относительно  $T_c$  имеет следующий вид:

$$T_c \geq \frac{1}{3}(N_T - N_{ТН}). \quad (25)$$

Значение  $(N_T - N_{ТН})$  – это число проверенных контрольных вопросов проверки (КВП) с требованиями. Отсюда следует, что для достижения приемлемой эффективности СУБП необходимо внедрить полностью как минимум 1/3 требований, при этом 2/3 должны быть внедрены с корректировкой.

Рассмотрим возможные значения  $K_{эфф}$  в различных соотношениях соответствий КВП при проверке оператора аэродрома, когда были использованы все 20 КВП со статусом «требования» (рис. 15).

По рисунку видно, что:

- если полностью внедрены все требования, но не внедрена ни одна из рекомендаций, то эффективность не более, чем «приемлемая» ( $K_{эфф} = 20$ ).
- для достижения уровня «хорошая» (20,1 - 22), а тем более «высокая» ( $K_{эфф} > 22$ ) оператор аэродрома будет вынужден внедрять также и рекомендации.
- максимум  $K_{эфф, макс} = 26$  – при полном внедрении всех требований и всех рекомендаций (корректировки не требуются).

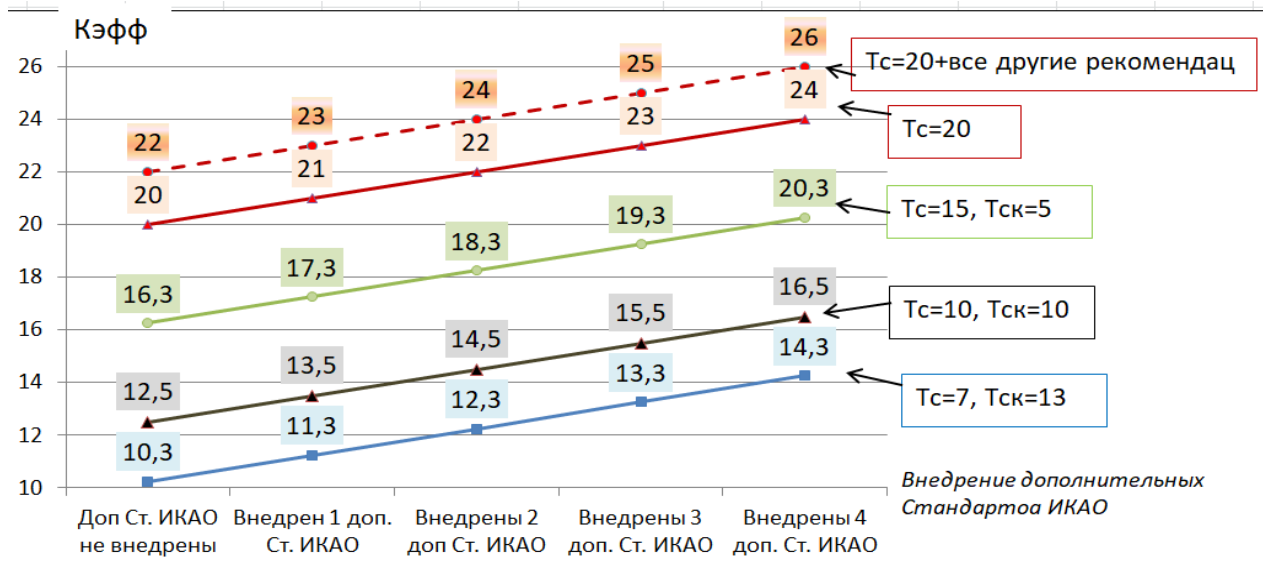


Рис. 15 - Графики значений  $K_{эфф}$  в различных соотношениях соответствий 20-ти КВП

Результаты данного исследования легли в основу методических рекомендаций территориальным органам Росавиации по проверкам систем управления безопасностью полетов поставщиков услуг, часть II Операторы сертифицированных аэродромов, утвержденных заместителем руководителя Росавиации. Предполагается, что Росавиация будет вести рейтинг всех авиапредприятий, в том числе операторов аэродромов, по этому коэффициенту. Если оператор хочет иметь хорошее место в этом рейтинге, он должен будет внедрять не только требования РФ, но и SARPs ИКАО, которые пока не прописаны в законодательных документах РФ.

### Заключение по работе

В диссертационной работе решена научная задача по разработке новой методики управления безопасностью полетов, применимой в производственной деятельности операторов сертифицированных аэродромов ГА РФ различного класса.

В конце каждой главы сформулированы выводы по проведенным и изложенным в них исследованиям.

Основные научные результаты и выводы, полученные автором в рамках настоящей работы, состоят в следующем.

1. Выполнен анализ деятельности оператора аэродрома по управлению безопасностью полетов, включая: виды деятельности, организационную структуру, требования воздушного законодательства РФ и Стандартов и Рекомендуемой практики ИКАО, методов управления риском и показателей уровня БП, применяемых в производственной деятельности операторов аэродромов.

2. Разработан новый показатель безопасности полетов - КРОС для оператора аэродрома, позволяющий более объективно (используя три компонента риска, в отличие от имеющихся методик, в которых учитывается только две составляющих риска для БП) оценивать уровень БП и динамику его изменений на основе дифференцированного учета влияния на безопасность полетов не только авиационных событий, но и отклонений от установленных норм, правил и процедур, а также имеющихся барьеров безопасности. Данный показатель особенно удобен для небольших аэродромов, на которых авиационные события происходят сравнительно редко.

3. Для упрощения и автоматизации расчетов предложенного показателя БП - КРОС разработана и зарегистрирована в государственном реестре программа для ЭВМ «Мониторинг КРОС (М-КРОС)». Свидетельство о регистрации программы выдано Федеральным органом исполнительной власти Роспатентом.

4. Разработан метод оценки риска для безопасности полетов в производственной деятельности оператора аэродрома (процедура ОРОП). Метод основан на трехкомпонентной

модели авиационного события (в отличии от подхода ИКАО, где используется только два компонента), предложенной группой ARMS для авиакомпаний, но учитывает особенности и многообразие видов деятельности, характерные факторы опасности и эффективность барьеров безопасности в аэродромной практике.

5. Разработан метод поддержки принятия управленческих решений в рамках СУБП с использованием регрессионного моделирования, экспертного оценивания, прогнозирования показателей и метода принятия двухкритериальных решений с применением «человеко-машинных» процедур. Метод позволяет более обоснованно (в отличии от стратегии без использования научного обоснования) распределять ресурсы, выделяемые на обеспечение безопасности полетов, с учетом двух критериев: повышение прогнозируемого уровня БП и снижение ущербов от возможных авиационных событий.

6. Метод поддержки принятия решений доведен до уровня практического использования с применением программного пакета STATISTICA и может быть адаптирован для использования в любом авиапредприятии.

7. Разработана методика проверок СУБП операторов аэродромов на соответствие законодательству РФ, SARPс ИКАО и передовым международным практикам. Данная разработка реализована в «Методических рекомендациях территориальным органам Росавиации по проверкам систем управления безопасностью полетов поставщиков услуг. Часть II Операторы сертифицированных аэродромов», утвержденных Росавиацией. Их применение повысит объективность и полноту проверок в 2,7 раза в отношении количества проверяемых пунктов, по сравнению с контрольными вопросами проверок, используемыми ранее.

8. Разработан новый коэффициент оценки эффективности СУБП, сбалансированно учитывающий соответствие оцениваемой СУБП требованиям Воздушного законодательства РФ, SARPс ИКАО и передовым международным практикам. Применение данного коэффициента эффективности и Методических рекомендаций в целом повысит объективность и полноту проверок, а также будет стимулировать оператора аэродрома на постоянное совершенствование своей СУБП.

**Дальнейшие научные исследования** и разработки данной темы целесообразно вести по следующим направлениям:

- совершенствование специальных методов управления БП для отдельных видов производственной деятельности оператора аэродрома (аэродромного обеспечения, спецтранспорта, организации пассажирских и грузовых перевозок и др.);
- использование в регрессионной модели прогнозирования современных методов обработки больших массивов данных с применением технологий нейронных сетей и искусственного интеллекта;
- корректировка контрольных вопросов проверки операторов аэродромов, весовых коэффициентов в формуле расчета коэффициента эффективности и ранжирования СУБП по уровням эффективности на основе результатов апробации Методики проверки;
- расширение сферы применения разработанных методов и программ на деятельность других поставщиков авиационных услуг (эксплуатантов, организаций по ТО ВС, разработчиков и изготовителей ВС).

### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации**

#### ***В рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ (по транспорту):***

1. Толстых, С. А. Метод разработки основных элементов СУБП оператора аэродрома / С. А. Толстых, В. Д. Шаров // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2018. – Т. 21. – № 4. – С. 29-38.
2. Шаров, В. Д. Оценка эффективности системы управления безопасностью полетов поставщика услуг / В. Д. Шаров, В. П. Каюмов, С. А. Толстых // Научный вестник ГосНИИ ГА. – 2020. – № 30. – С. 117-128.

3. Tolstykh, S. A. Method of optimization of decision-making during management of safety of flights in the activities of operators of aerodromes / S. A. Tolstykh // Civil Aviation High Technologies. – 2020. – Vol. 23. – No 5. – P. 54-66.

4. Шаров, В. Д. Методика оценки безопасности и качества деятельности поставщика авиационных услуг с использованием метода главных компонент / В. Д. Шаров, В. В. Воробьев, Н. И. Николайкин, В. Л. Кузнецов, С. А. Толстых // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2020. – № 4. – С. 17-26.

***В других рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:***

1. Толстых, С. А. Разработка алгоритмического и программного обеспечения расчета и мониторинга нового показателя безопасности полетов / С. А. Толстых, А. В. Старостенко, В. Д. Шаров // Безопасность жизнедеятельности. – 2020. – № 6(234). – С. 42-47.

***В других изданиях,*** индексируемых в международных базах цитирования, а также материалы тезисов докладов, сделанных на международных и всероссийских научно-технических и научно-практических конференциях:

1. V. D. Sharov, V. V. Vorob'ev, N. I. Nikolaikin, V. L. Kuznetsov & S. A. Tolstykh Methodology for Estimating the Safety and Quality of the Aviation Service Provider Activities Using the Principal Component Analysis. Russian Aeronautics, volume 63, pages 575–585, 2020.

2. Valeriy Sharov, Pavel Polyakov, Sergei Tolstykh Practical applications of fuzzy set theory in flight safety management. MATEC Web of Conferences, The VII International Scientific and Practical Conference “Information Technologies and Management of Transport Systems” (ITMTS 2021), Volume 341, 2021.

3. Толстых, С. А. Разработка системы управления рисками безопасности для эксплуатанта аэродрома / Авиация: история, современность, перспективы развития: сборник материалов II международной заочной научно-практической конференции БГАА. Минск, 9–10 ноября 2017 г. / сост. М.А. Бабицкая [и др.]; под научн. ред. Г.Ф. Ловшенко. – Минск: БГАА, - 2017. - С.198-201.

4. Толстых, С. А. Применение факторного анализа показателей безопасности полетов для поддержки принятия решений / С. А. Толстых // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : сборник тезисов докладов, Москва, 16–17 мая 2018 года. – Москва: Академия имени Н.Е. Жуковского, 2018. – С. 127.

5. Толстых, С. А. Разработка программы для ЭВМ для расчета и мониторинга уровня безопасности полетов поставщиков авиационных услуг / С. А. Толстых // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» : Тезисы 19-ой Международной конференции, Москва, 23–27 ноября 2020 года. – Москва, : Издательство "Перо", 2020. – С. 316-317.

6. Толстых, С. А. Применение регрессионной модели прогнозирования для поддержки принятия решений при управлении безопасностью полетов / С. А. Толстых, В. Д. Шаров // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : Сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию МГТУ ГА, Москва, 25–26 мая 2021 года. – Москва: ИД Академии Жуковского, 2021. – С. 227-229.

Соискатель

Толстых С.А.