

На правах рукописи

Кулик Алексей Анатольевич

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО
СУДНА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
И ПАРИРОВАНИЯ УГРОЗЫ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» в Высшей школе искусственного интеллекта Института компьютерных наук и технологий.

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Большаков Александр Афанасьевич

Официальные оппоненты: **Федунов Борис Евгеньевич**,
доктор технических наук, профессор,
Государственный научно-исследовательский институт
авиационных систем, отделение 0200, начальник сектора

Филимонюк Леонид Юрьевич,
доктор технических наук, Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова Российской академии наук,
лаборатория 27, ведущий научный сотрудник

Катасёв Алексей Сергеевич,
доктор технических наук, доцент,
Казанский национальный исследовательский
технический университет имени А.Н. Туполева – КАИ,
кафедра «Системы информационной безопасности»,
профессор кафедры

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Федеральный исследовательский центр
«Саратовский научный центр Российской академии
наук», г. Саратов

Защита состоится 19 октября 2022 года в 15.00 на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.038.03, созданного на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» по адресу: Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1, ауд. 554/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГУТ по адресу Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 22, корп. 1 и на сайте www.sut.ru.

Автореферат разослан 01 июня 2022 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 99.2.038.03,
канд. техн. наук, доцент

А.Г. Владыко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время ведущими авиационными предприятиями активно осуществляются работы по повышению безопасности полета воздушных судов (ВС). Как правило, такая задача решается на этапе разработки судна аппаратным резервированием и разнородностью его функционально значимых элементов. Однако этих способов повышения безопасности полета ВС не всегда достаточно, так как кроме состояния авиационной техники на условия полета существенное влияние оказывают внешние воздействующие факторы (ВВФ) и психофизическое состояние экипажа. Так по данным статистики 83% авиационных происшествий приходится на человеческий фактор, 15% – на отказ техники, 2% – на внешние воздействующие факторы. Достаточно часто авиационные происшествия происходят под влиянием совокупности вышеперечисленных факторов.

Повышение безопасности полета ВС является народно-хозяйственной проблемой, для решения которой требуется создание методов и средств оценки угроз появления и развития авиационного происшествия, а также способов их парирования.

Степень разработанности. Созданию средств предупреждения, оценки и парированию отказов авиационной техники посвящены работы многих исследователей. Так Г.В. Новожиловым, А.Ф. Резчиковым, В.А. Иващенко, В.А. Кушниковым разработаны методы системного анализа безопасности авиационных транспортных систем в условиях критического сочетания событий. Работы Н.Н. Макарова, В.М. Солдаткина посвящены вопросам оценки надежности и отказобезопасности авиационной техники. Предложенные авторами методы оценки безопасности полета воздушного судна не предусматривают применения средств искусственного интеллекта при определении угрозы авиационного происшествия.

В области создания методов искусственного интеллекта для управления сложными организационно-техническими системами следует отметить работы О.М. Проталинского, Щербакова М.В., А.А. Большакова, О.Н. Долининой, Б.Е. Федунова.

Разработана автоматизированная высокоинтеллектуальная система обеспечения полета летательного аппарата Л.М. Берестовым, Е.Г. Хариним, которая способна парировать наступление катастрофической ситуации в управлении воздушным судном на основе прогноза и оценки превышения

эксплуатационных ограничений полета с использованием экспертной системы определения угрозы катастрофической ситуации и моделирования объекта управления. Недостатком подобных систем является необходимость больших вычислительных мощностей для оперативного и качественного функционирования математической модели объекта управления, а также прогнозирования изменений переменных, влияющих на безопасность полета, в том числе на психофизическое состояние экипажа.

Поэтому создание методов оценки и прогнозирования угрозы авиационного происшествия на основе непосредственного контроля изменения значений переменных, влияющих на безопасность полета, с применением средств искусственного интеллекта, позволит успешно решать **актуальную проблему**, связанную с необходимостью повышения безопасности полетов, в первую очередь, с учетом человеческого фактора. Ее решение позволит выявить непосредственные причины угроз авиационного происшествия и парировать их на основе системы управления безопасностью полетов.

Настоящая диссертационная работа посвящена построению концепции управления безопасностью полета воздушного судна, включающей методы и алгоритмы по оценке и прогнозированию угрозы наступления авиационного происшествия с использованием алгоритмов нечеткой логики, а также способы парирования ее на базе интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Объектом исследования является авиационная транспортная система.

Предметом исследования являются математические модели, методы искусственного интеллекта, системного анализа, а также способы парирования угрозы авиационного происшествия.

Целью работы является повышение качества функционирования авиационной транспортной системы на базе разработки методологических основ улучшения безопасности полетов воздушного судна с использованием систем поддержки принятия решений и методов нечеткой логики. Это позволит обеспечить эффективное и безопасное управление воздушным судном в сложных ситуациях полета.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) выполнить анализ систем и способов обеспечения безопасности полета ВС, на основе которого сформировать основные направления исследования;
- 2) предложить структуру интеллектуальной авиационной системы, сформулировать принципы ее функционирования и методы их реализации;

3) разработать методы оценки и прогноза угрозы авиационного происшествия;

4) разработать метод парирования угрозы авиационного происшествия с применением интеллектуальной системы поддержки принятия решений;

5) предложить архитектуру и алгоритмы функционирования системы управления безопасностью полета воздушного судна;

6) разработать методику испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна;

7) выполнить имитационное моделирование предложенных методов и алгоритмов для подтверждения их работоспособности.

Научная новизна результатов исследования.

1. Предложены критерий и модель оценки условий полета воздушного судна, которые заключаются в определении влияния на безопасность полета совокупности внешних и внутренних воздействующих факторов и использовании при решении задачи оптимального управления безопасностью полета. В отличие от известных подходов к определению угрозы авиационного происшествия предложенные критерии и модель оценки условий полета воздушного судна учитывают влияние на безопасность полета совокупности показателей психофизического состояния экипажа, объекта управления и внешних воздействующих факторов (п. 3).

2. Разработан метод оценки угрозы авиационного происшествия на основе математического аппарата нечеткой логики, в котором используются критерии и модели оценки безопасности полета воздушного судна с учетом психофизического состояния экипажа, технического состояния воздушного судна и внешних воздействующих факторов. В отличие от существующих методов по оценке угрозы авиационного происшествия предложенный подход к определению безопасности полета воздушного судна основан на применении оригинальных моделей и критериев по оценке угрозы авиационного происшествия (п. 4).

3. Разработан метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия, заключающийся в предсказании изменений значений переменных внешних и внутренних факторов, влияющих на безопасность полета, с последующей оценкой угрозы авиационного происшествия во время полета воздушного судна. В отличие от существующих методов прогнозирования угрозы авиационного происшествия, в которых используются модели полета воздушного судна в условиях отказов его бортового оборудования, предложен метод, учитывающий

динамику изменения совокупности переменных безопасности полета судна, а также изменение состояния угрозы авиационного происшествия во время полета воздушного судна (п. 11).

4. Предложена математическая модель парирования угрозы авиационного происшествия, предназначенная для использования при решении задачи оптимального управления безопасностью полета воздушного судна, заключающейся в минимизации угрозы авиационного происшествия под влиянием внешних и внутренних воздействующих факторов, состояние которой изменяется управляющими воздействиями экипажа или системы автоматического управления. В отличие от существующих математических моделей, описывающих сигналы предотвращения угрозы авиационного происшествия, предложенная модель отличается декомпозицией причин и последствий ухудшений условий полета, улучшение характеристик которых представлено сигналами системы автоматического управления и действиями экипажа (п. 5).

5. Разработан метод поддержки принятия решений, который обеспечивает формирование сигнала парирования угрозы авиационного происшествия с использованием набора правил ее предотвращения, и последующей выдачей сигналов в бортовые системы управления, а также средствам индикации и оповещения экипажа. Предложенный метод поддержки принятия решений отличается от существующих применением в его составе наборов правил парирования текущей и прогнозируемой угроз авиационного происшествия от сложных до катастрофических условий полета с определением переменных, влияющих на изменение угрозы происшествия (п. 10).

6. Предложена архитектура и алгоритмы функционирования системы управления безопасностью полета воздушного судна, которые включают элементы предварительной оценки безопасности полета, прогнозирования изменения условий полета воздушного судна и парирования угрозы авиационного происшествия с использованием средств искусственного интеллекта. В отличие от существующих систем управления безопасностью полета архитектура и алгоритмы предложенной системы содержат элементы предварительной оценки угрозы авиационного происшествия по информации, полученной от средств контроля психофизического состояния экипажа, технического состояния объекта управления и погодных условий полета, данные которой используются в устройстве поддержки принятия решений для прогнозирования и парирования угрозы авиационного происшествия (п. 9).

7. Предложена методика комплексных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна, которая заключается в отработке программного и аппаратного обеспечения системы управления безопасностью полета воздушного судна на стендах имитационного и полунатурного моделирования условий эксплуатации системы, в том числе при отказах ее взаимодействующего оборудования. Предложенная методика отличается от существующих способов апробации программного и аппаратного обеспечения систем управления безопасностью полета комплексным подходом к оценке их работоспособности, который заключается в качественной и количественной оценках результатов исследований безопасности полета воздушного судна с имитацией его систем и условий полета, в том числе при отказах бортового оборудования (п. 11).

Теоретическая значимость результатов работы.

1. Обоснована целесообразность использования совокупности показателей внешних и внутренних воздействующих факторов в критериях и моделях оценки безопасности полета воздушного судна.

2. Расширен класс методов оценки угрозы авиационного происшествия в области повышения достоверности идентификации угрозы и причин авиационного происшествия.

3. Метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия расширяет класс используемых моделей оценки безопасности полета воздушного судна под влиянием совокупности психофизического состояния экипажа и внешних воздействующих факторов за время его полета.

4. Установлена зависимость сигналов парирования угрозы авиационного происшествия от значений, характеризующих условия полета воздушного судна, которое обеспечивается действиями экипажа или системой автоматического управления.

5. Установлена возможность использования набора правил поддержки принятия решений экипажа и идентификации причин ухудшений условий полета в эргатических системах для поддержки принятия решений операторами управления опасными технологическими процессами, включая управление воздушными судами.

6. Установлены основные подходы к проектированию систем управления безопасностью полета с учетом изменения совокупности внешних и внутренних факторов, влияющих на проявление угрозы авиационного происшествия и

являющихся основной частью методологических основ синтеза нового класса организационно-технических систем – интеллектуальных авиационных систем.

7. Установлены критерии исправности работы системы управления безопасностью полета воздушного судна в условиях ее эксплуатации на основе комплексного подхода к оценке качества функционирования ее программного и аппаратного обеспечения в условиях ее эксплуатации.

Практическая значимость результатов работы.

1. Предложенные критерии и модели оценки условий полета воздушного судна позволяют определить степень угрозы авиационного происшествия на различных этапах полета воздушного судна и идентифицировать ее источник.

2. Метод оценки угрозы авиационного происшествия позволяет выявить и оценить степень угрозы авиационного происшествия под влиянием совокупности факторов безопасности полета с использованием алгоритмов нечеткой логики.

3. Метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия позволяет прогнозировать появление угрозы авиационного происшествия под влиянием совокупности воздействующих факторов и идентифицировать источник ее появления на различных этапах полета воздушного судна, что может быть использовано в виде соответствующего программного обеспечения бортового комплекса судна.

4. Математическая модель парирования угрозы авиационного происшествия позволяет определить диапазоны выходного сигнала бортовой аппаратуры в зависимости от способа парирования угрозы происшествия и используется при разработке алгоритмов поддержки принятых решений экипажем при парировании угрозы авиационного происшествия.

5. Метод парирования угрозы авиационного происшествия с использованием данных о текущих и прогнозируемых значениях факторов безопасности полета воздушного судна и изменения условий его полета позволяет своевременно оповестить экипаж об угрозе авиационного происшествия и выдать ему рекомендации по ее парированию.

6. Предложенная новая система управления безопасностью полета позволяет определить степень угрозы авиационного происшествия, идентифицировать ее источник и выработать управленческие действия по ее парированию на ранних этапах ухудшений условий полета.

7. Методика испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна позволяет осуществить проверку работоспособности систем

управления безопасностью полета в штатном режиме ее эксплуатации, а также в условиях отказов взаимодействующего оборудования.

Реализация и внедрение результатов работы. Практическая значимость работы подтверждается использованием методов и алгоритмов оценки угрозы авиационного происшествия в АО «Конструкторское бюро промышленной автоматики», ПАО «Саратовский электроприборный завод имени Серго Орджоникидзе»; применением методов управления безопасностью эксплуатации сложных организационно-технических систем в научной и учебной работе кафедры «Техническая механика и мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А., Высшей школы прикладной математики и вычислительной физики Санкт-Петербургского политехнического университета имени Петра Великого, кафедры «Системы автоматического управления» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

Тема диссертации и внедрение ее результатов соответствует направлению «Безопасность и противодействие терроризму», которое является первым в Перечне приоритетных направлений развития науки, технологий и техники, утвержденным Указом № 899 Президента РФ от 7 июля 2011 г.

Результаты диссертационной работы отражены в отчете научно-исследовательской работы на тему «Разработка и экспериментальная отработка теоретических основ применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами вертолетного типа взлетной массой до 500 кг при выполнении поисково-спасательных операций на воде» (№ гос. рег. АААА-Б18-218040290053-0).

Методология и методы исследования. Методология исследования основана на создании методов оценки, прогнозирования и парирования угрозы авиационного происшествия с учетом психофизического состояния экипажа, технического состояния объекта управления и внешних воздействующих факторов, направлена на повышение качества управления безопасностью полета воздушного судна.

При выполнении работы использовались методы нечеткой логики, поддержки принятия решений, формирования баз знаний экспертных систем, теории вероятности, системного и инженерного анализа, теории автоматического управления, оценки работоспособности сложных технических систем.

Положения, выносимые на защиту:

1. Критерий и модель оценки безопасных условий полета воздушного судна.
2. Метод оценки угрозы авиационного происшествия.
3. Метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия.
4. Математическая модель парирования угрозы авиационного происшествия.
5. Метод поддержки принятия решений экипажем по парированию угрозы авиационного происшествия.
6. Архитектура и алгоритмы функционирования системы управления безопасностью полета воздушного судна.
7. Методика комплексных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна.

Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечивается корректной постановкой проблемы и задач, применением при их решении современных методов искусственного интеллекта и теории управления, сравнением экспериментов с оценкой адекватности и использованием экспертной информации.

Реализуемые методы и алгоритмы строго аргументированы и критически оценены по сравнению с другими известными результатами. Постановка задач и моделей содержательно интерпретированы. Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждаются публикациями в ведущих отечественных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и зарубежных изданиях по тематике исследования, индексируемых в БД Web of Science и Scopus, а также применением разработанных методов и алгоритмов на отечественных авиационных предприятиях и в процессе обучения в федеральных государственных образовательных учреждениях.

Апробация работы. Основные и промежуточные результаты работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: «Математические методы в технике и технологиях» (Саратов, 2016); «Проблемы управления, обработки и передачи информации» (Саратов, 2017); «Математические методы в технике и технологиях» (Санкт-Петербург, 2017–2019, Казань, 2020); «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики» (Воронеж, 2017); «Информационно-коммуникационные технологии в науке и производстве» (Саратов, 2019); «Кибер-физические системы: проектирование и моделирование» CYBERPHY –

«Cyber-Physical Systems Design and Modelling» (Санкт-Петербург, 2019, Казань, 2020); на X Всероссийской мультikonференция по проблемам управления – МКПУ-2017 (Дивноморское, 2017), а также на научно-техническом совете АО «Конструкторское бюро промышленной автоматики».

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 32 печатные работы, из них 14 статей – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, 4 статьи – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 1 монография и 11 – в других изданиях и материалах конференций, 2 результата интеллектуальной деятельности.

Соответствие научной специальности. Диссертационная работа соответствует пунктам 3, 4, 5, 9, 10 и 11 паспорта специальности «Системный анализ, управление и обработка информации».

Личный вклад автора. Проведен анализ существующих систем и методов управления безопасностью полетов воздушного судна [1, 2, 4, 7], предложены методологические основы управления безопасностью полета воздушного судна [12, 19], разработаны методы и алгоритмы оценки угрозы авиационного происшествия [5, 17], предложена система управления безопасностью полета воздушным судном с использованием аппарата нечеткой логики и поддержки принятия решений [2, 3, 11, 15], разработан метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия [6, 14], проведен анализ взаимодействия системы управления безопасностью полета воздушного судна, что позволило разработать алгоритм поддержки принятия решений [8, 9], разработаны математическая модель парирования угрозы авиационного происшествия и метод вычисления сигнала управления безопасностью полета воздушного судна [4], предложен метод поддержки принятия экипажу по парированию угроз авиационного происшествия с учетом моделирования прогноза ее развития [13, 18, 20], разработана методика отработки системы управления безопасностью полета воздушного судна [7, 8, 10].

Структура и объем работы. Диссертация содержит введение, 7 глав, заключение, список литературы из 227 наименований, приложения. Работа изложена на 270 страницах, содержит 43 рисунка, 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, формулируются цель и задачи исследования, научная новизна и положения, выносимые на защиту. Приводятся сведения об апробации, публикациях и практической значимости диссертационной работы.

В первой главе проводится анализ проблемы определения угрозы авиационного происшествия (АП) и своевременного ее парирования. Выполнен обзор методов, алгоритмов и систем обеспечения безопасности полета воздушного судна.

По результатам анализа теоретических и практических работ обеспечения безопасности полета воздушного судна сделан вывод о том, что в настоящее время существует необходимость в совершенствовании систем безопасности полета, позволяющих своевременно оценить, прогнозировать и парировать угрозу АП при воздействии на объект нескольких неблагоприятных факторов. Существующие системы, известные из результатов патентного поиска, научных публикаций и технической документации, ориентированы на выявление и нейтрализацию отдельных причин происшествия без учета сопутствующих воздействующих факторов на объект управления. Также в этих системах отсутствует функция прогнозирования изменения переменных воздействующих факторов на безопасность полета воздушного судна для своевременного определения и парирования угрозы АП.

Таким образом первая глава работы посвящена постановке научной проблемы, заключающейся в повышении безопасности полета воздушного судна под влиянием внутренних и внешних воздействующих факторов в сложных условиях полета; а также формированию основных задач исследования, направленных на создание методов повышения безопасности полета воздушного судна.

Во второй главе приводится описание нового класса организационно-технических систем управления, представляющего интеллектуальную авиационную систему (ИАС), которая отличается от авиационной транспортной системы наличием в ее структуре подсистемы поддержки принятия решений. Структурная схема ИАС представлена на рисунке 1.

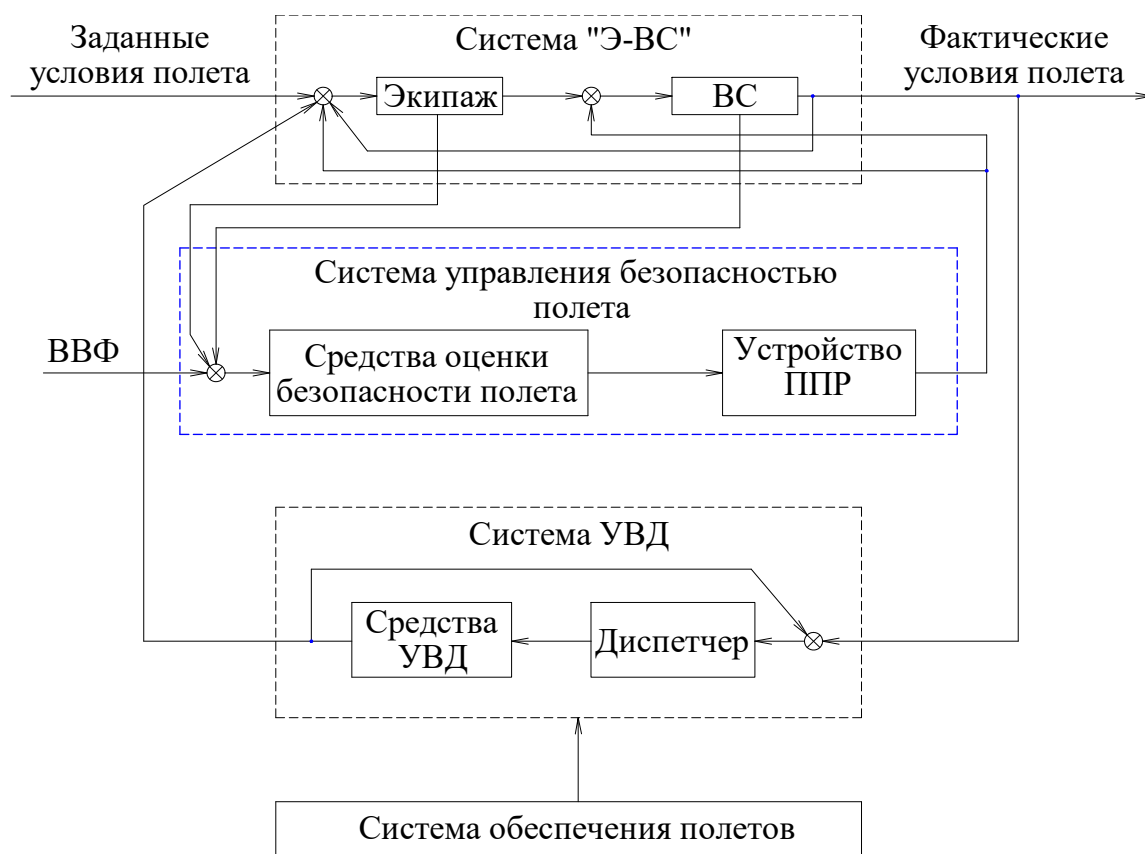


Рисунок 1 – Структурная схема АИС

где ВВФ – внешние воздействующие факторы, ППР – поддержка принятия решений, УВД – управление воздушным движением.

Интеллектуальная авиационная система содержит следующие подсистемы:

- **система «экипаж – ВС»** – основное звено ИАС, которое обеспечивает использование ВС по назначению. Экипаж, как конечное звено ИАС, выполняет полет, выявляет недостатки конструкции ВС, управления воздушным движением, организации и обеспечение полетов, а также отрицательные внешние воздействия.

- **система организации (управления) воздушным движением** обеспечивает движение ВС по заданным маршрутам в соответствующих зонах полета, а также на подходе к аэродрому и районах аэродрома.

- **система летной эксплуатации ВС** определяет деятельность экипажа и других элементов ИАС с использованием нормативных документов, в которых содержатся рекомендации относительно подготовки и выполнения полетов в ожидаемых и особых условиях полета.

- **система технической эксплуатации** является планово-предупредительной и строится на основе таких принципов, как соблюдение

плановости во время проведения различных форм технического обслуживания, своевременного предотвращения отказов функциональных систем и наиболее важных элементов и обеспечения экономической эффективности технической эксплуатации.

– **система управления безопасностью полета ВС** представляет комплекс контроля и управления, функционирование которого связано с обнаружением и устранением АП под воздействием внутренних и внешних факторов на земле и в воздухе.

На основе свойств авиационно-транспортных систем и интеллектуальных систем сформулированы принципы функционирования ИАС:

1. **Интеллектуальность ИАС** обусловлена наличием в ее структуре экипажа, диспетчера, а также системы поддержки принятия решений. При этом система поддержки принятия решений способна оказывать вспомогательные действия экипажу и формировать управляющее воздействия по отношению к воздушному судну. Под интеллектуальностью ИАС понимается относительная величина функций, выполняемых системой поддержки принятия решений. Количественная оценка этой функции является показателем интеллектуальности системы.

2. **Информативность.** Информативность авиационно-интеллектуальной системы определяется полнотой и достоверностью ее входных данных (условия подготовки и выполнения полета ВС, состояние экипажа, воздушного судна и средств управления воздушным движением), а также выходных данных системы поддержки принятия решений. Наряду с входными и выходными данными ИАС важное значение имеет полнота и достоверность базы знаний системы поддержки принятия решений.

3. **Быстродействие.** Система управления должна обладать такой скоростью переработки информации, которая обеспечивает функционирование авиационной системы в реальном масштабе времени. Поэтому актуальны получение и анализ текущей информации для выработки соответствующих управленческих воздействий.

4. **Взаимосвязанность подсистем** предусматривает участие всех элементов системы в обеспечении управления процессам полета ВС, а также обмена данными между ними на этапах подготовки и выполнения полета.

5. **Безопасность полета ВС** представляет комплекс мероприятий, направленных на распознавание угрозы АП и ее предотвращение. Безопасность полета ВС предусматривает:

– **идентификацию угрозы авиационного происшествия**, что предполагает качественную и количественную оценки условий полета воздушного судна, а также определение разновидности угрозы АП (аварийная или катастрофическая ситуация);

– **прогнозирование угрозы авиационного происшествия** предусматривает прогнозирование изменений переменных внешних и внутренних факторов, влияющих на условия полета ВС и, как следствие, на безопасность процесса;

– **предотвращение угрозы авиационного происшествия** является комплексом действием экипажа, бортового оборудования ВС, системы обеспечения полетов и интеллектуальной системы поддержки принятия решений, направленных на предотвращение развития угрозы АП;

6. **Управляемость системы** предполагает эффективную реализацию процесса полета воздушного судна, что обеспечивается сигналами управления экипажа, интеллектуальной системы поддержки принятия решений и средств обеспечения полетов.

Реализация принципов, образующих методологию управления безопасностью функционирования интеллектуальной авиационной системы, представлена на рисунке 2. Структурная схема представляет взаимосвязь принципов, методов и алгоритмов, направленных на повышение безопасности полета воздушного судна.

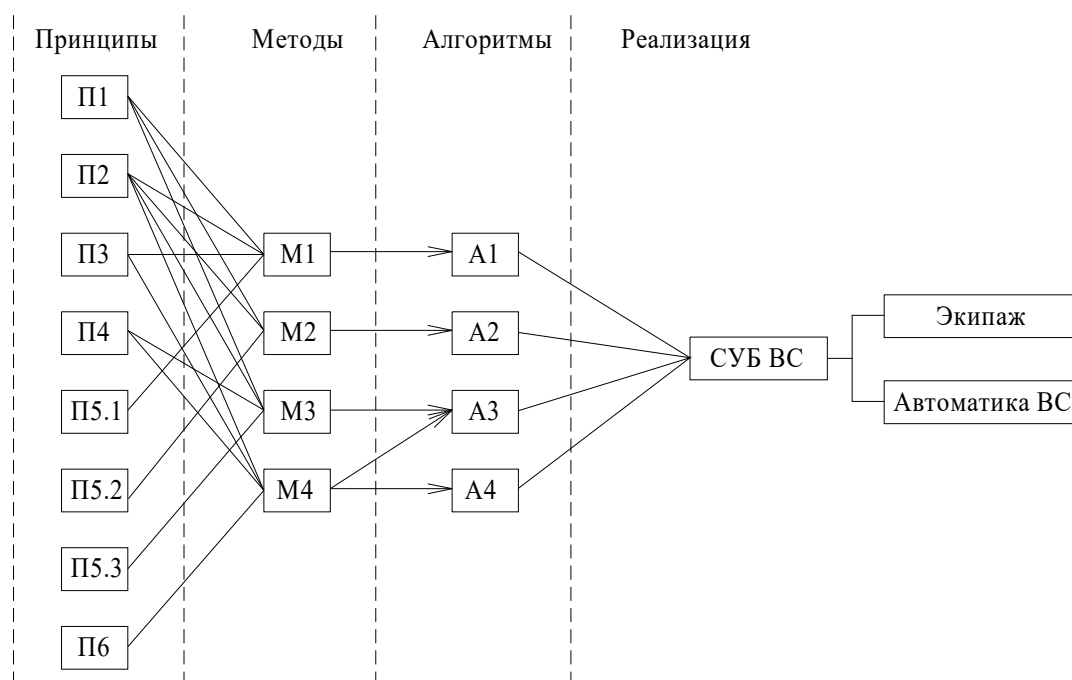


Рисунок 2 – Методология управления безопасностью АИС

где П1–П6 – принципы функционирования АИС, М1–М4 – методы управления безопасностью полета ВС, А1–А4 – алгоритмы управления безопасностью полета ВС, СУБ ВС – система управления безопасностью полета ВС.

Из рисунка видно, что интеллектуальный метод оценки угрозы АП (М1) базируется на принципах интеллектуальности системы (П1), идентификации угрозы АП (П5.1), информативности (П2) и быстродействия системы управления (П3). В свою очередь, метод прогнозирования угрозы АП (М2) основывается на принципах интеллектуальности системы (П1), быстродействия системы (П2) и прогнозирования угрозы АП (П5.2). Метод поддержки принятия решений экипажа при угрозе происшествия (М3) использует принципы парирования угрозы АП (П5.3), а также интеллектуальности (П1), информативности (П2) и взаимосвязи подсистем ИАС (П4). Метод синтеза закона управления парирования угрозы АП (М4) базируется на принципах информативности (П2), быстродействия (П3), взаимосвязи подсистем (П4) и управляемости системы (П6).

Реализация предложенных методов осуществляется программным и аппаратным обеспечением системы управления безопасностью полета воздушного судна, реализующей следующие алгоритмы.

1. Оценка угрозы происшествия и условий полета ВС (А1).
2. Прогнозирование угрозы происшествия (А2).
3. Предотвращение угрозы происшествия (А3).
4. Реконфигурация систем управления ВС (А4).

Таким образом, представленная в работе концепция построения функционирования интеллектуальной авиационной системы, направлена на повышение безопасности полета воздушного судна. Отличительная особенность этой концепции заключается в совокупности методов и алгоритмов идентификации угрозы авиационного происшествия и ее нейтрализацию с учетом психофизического состояния экипажа, технического состояния объекта управления и внешних воздействующих факторов.

Согласно анализу безопасности полета воздушного судна оценка качества его управления осуществляется на основе условий полета под влиянием внешних и внутренних воздействующих факторов. Тогда входными переменными математической модели оценки безопасности полета воздушного судна являются переменные, характеризующие психофизическое состояние экипажа, погодные условия полета судна, техническое состояние судна и его бортового оборудования. При этом выходной переменной модели является оценка условий

безопасности полета воздушного судна. Учитывая, что входные и выходные переменные модели оценки безопасности полета ВС являются недетерминированными и сложно формализуемыми, то в качестве математического аппарата модели целесообразно использовать аппарат нечеткой логики.

Общий вид математической модели для оценки условий полета воздушного судна можно представить выражением:

$$\forall t \in [t_n; t_k]: Y_i(t) \subseteq F_i[X_1(t), X_2(t), X_3(t), u(t), t], \quad (1)$$

где $X(t)$ – входные переменные модели оценки безопасности полета, $Y_i(t)$ – выходная переменная модели (оценка безопасности полета ВС), $F_i[X_1(t), X_2(t), X_3(t), u(t), t]$ – целевая функция управления безопасностью полета.

Значения оценки условий полета воздушного судна в зависимости от угрозы АП принимают могут быть представлены на числовой шкале (рисунок 3).

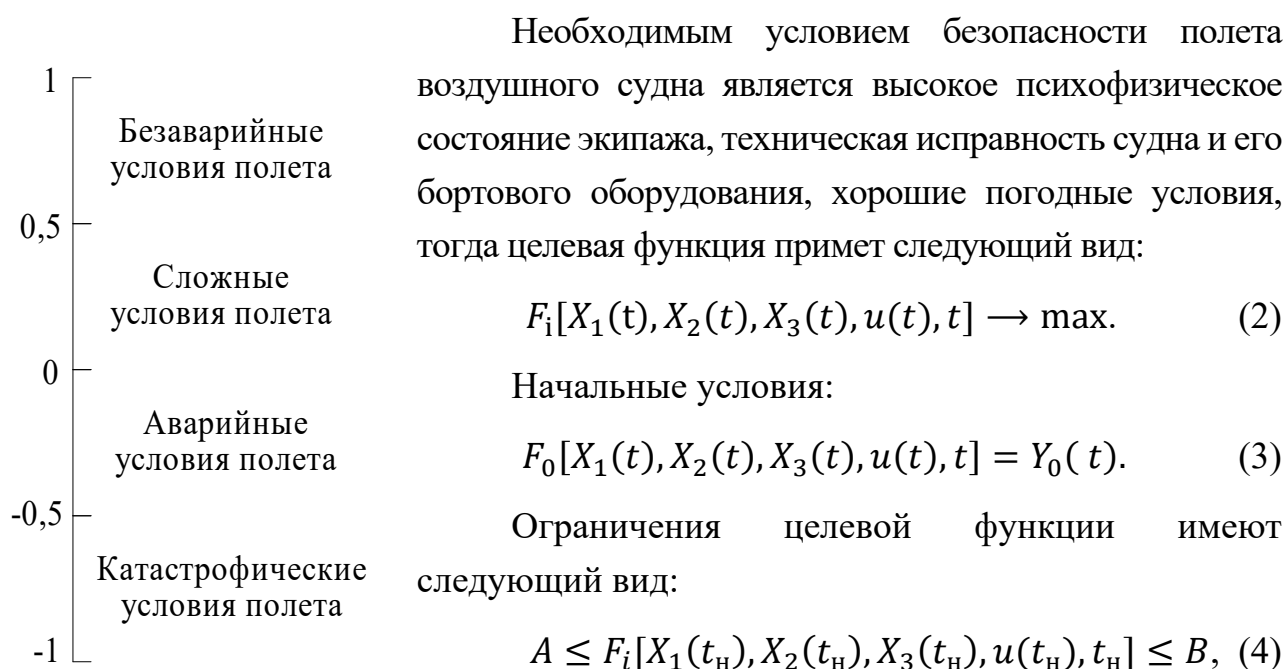


Рисунок 3 – Шкала оценки условий полета

где A, B – максимально и минимально допустимые значения целевой функции в диапазоне $[0.5; 1.0]$, которые характеризуют безопасные условия полета воздушного судна.

Таким образом, оптимальное управление безопасностью полета воздушного судна должно обеспечивать выполнение условия максимума целевой функции (2) при ее заданных начальных и граничных условиях.

В процессе управления воздушным судном происходит изменение безопасности его полета, оценка которого осуществляется в зависимости от значений внутренних и внешних воздействующих факторов безопасности

полета: $X_1(t)$ – психофизическое состояние экипажа, $X_2(t)$ – техническое состояние объекта управления, $X_3(t)$ – погодные условия полета. При этом предотвращение угрозы происшествия осуществляется действиями как с использованием, так и без использования информации от системы поддержки принятия решений, а также системой автоматического управления ВС при незначительных отказах бортового оборудования.

Оценка качества парирования угрозы АП осуществляется следующим образом:

1) действия экипажа являются достаточными для парирования АП и $Y(t) \rightarrow 1.0$;

2) действия экипажа недостаточно для парирования АП и $Y(t) < 0.5$;

3) действий систем управления воздушного судна достаточно для парирования АП и $Y(t) \rightarrow 1.0$;

4) действий систем управления воздушного судна недостаточно для парирования АП и $Y(t) < 0.5$;

5) правильная выдача рекомендаций экипажу по парированию угрозы происшествия и как следствие действия экипажа соответствуют п. 1 настоящего перечня;

6) неправильная выдача рекомендаций экипажу по парированию угрозы происшествия и как следствие действия экипажа соответствуют п. 2 настоящего перечня.

Следует отметить, что каждое действие по парированию угрозы АП способно привести к улучшению, ухудшению и отсутствию изменений безопасности полета воздушного судна. Тогда сигнал управления безопасностью полета воздушного судна может принимать следующие значения:

1) $u(t) = [-1; 0)$ – ухудшение безопасности полета воздушного судна;

2) $u(t) = 0$ – отсутствие изменений безопасности полета воздушного судна от управляющего воздействия;

3) $u(t) = (0; 1]$ – улучшение безопасности полета воздушного судна.

Учитывая, что задача оптимального управления безопасностью полета воздушного судна решается в рамках создания системы управления безопасностью полета судна, тогда примем два способа парирования угрозы АП:

а) угроза парируется действием экипажа по рекомендации устройства поддержки принятия решений – $z_1(t)$;

б) угроза парируется системами автоматического управления – $z_2(t)$ при $X_1(t) \rightarrow \max$.

Таким образом, общий вид управления безопасностью полета воздушного судна может быть представлен соотношением:

$$u(t) = \begin{cases} f(z_1(t)), & \text{при } c = 0; \\ f(z_2(t)), & \text{при } c = 1, \end{cases} \quad (5)$$

где $c = \langle X_1(t), X_2(t) \rangle$ – условия включения автоматического парирования угрозы АП по психофизическому состоянию экипажа и состояния бортового оборудования.

Пусть $z_i(t) \in G$, где $G \subseteq (g_1, g_2)$, тогда используя выражение (5) и математическую модель оценки безопасности полета воздушного судна (1):

$$z_i(t) = f(g_{1i}, g_{2i}) = \langle Y(t); X_1(t); X_2(t); X_3(t); c(t) \rangle, \quad i = 1 \dots n, \quad (6)$$

где G – множество управляющих воздействий парирования угрозы АП; g_1, g_2 – подмножества ручного и автоматического управления по парированию угрозы АП, соответственно; g_{1i}, g_{2i} – элементы подмножества ручного и автоматического управления при парировании угрозы АП.

Таким образом, решение задачи оптимального управления безопасностью полета воздушного судна заключается в определении значений переменной $z_i(t) \in G$ в соответствии с выражением (2) и обеспечивающей выполнение условия $Y(t) \rightarrow \max$. Задача может решаться при следующих начальных и граничных условиях:

$$u(0) = z_0 = 0; \quad 0 < u(t) \leq 1. \quad (7)$$

Вычисление сигнала управления безопасностью полета воздушного судна может быть осуществлено на основе графа состояния условий полета ВС, который описывается уравнениями Колмогорова-Чепмена. Граф состояния условий полета ВС представлен на рисунке 4.

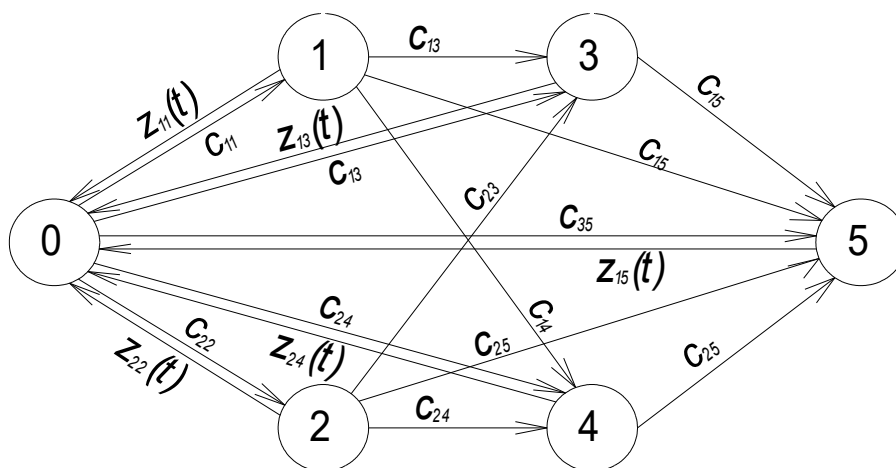


Рисунок 4 – Граф состояния безопасности полета ВС

Здесь 0 – без аварийные условия полета ВС, 1 – сложные условия полета при ухудшении бортового оборудования ВС и погодных условий полета; 2 – сложные условия полета при ухудшении психофизического состояния экипажа и погодных условий полета; 3 – аварийные условия полета при ухудшении бортового оборудования ВС и погодных условий полета; 4 – аварийные условия полета при ухудшении психофизического состояния экипажа и погодных условий полета; 5 – катастрофические условия полета; $z_{11}(t)$ – предотвращение угрозы АП действиями экипажа в сложных условиях полета ВС; $z_{13}(t)$ – предотвращение угрозы авиационного происшествия действиями экипажа в аварийных условиях полета ВС; $z_{15}(t)$ – предотвращение угрозы АП действиями экипажа при угрозе катастрофы; $z_{22}(t)$ – предотвращение угрозы АП системой автоматического управления воздушного судна в сложных условиях полета ВС; $z_{24}(t)$ – предотвращение угрозы АП системой автоматического управления воздушного судна в аварийных условиях полета ВС; c_{11} – показатель перехода условий полета ВС из состояния 0 в состояние 1; c_{13} – показатель перехода условий полета ВС из состояний 0 и 1 в состояние 3; c_{15} – показатель перехода условий полета ВС из состояний 1 и 3 в состояние 5; c_{22} – показатель перехода условий полета ВС из состояния 0 в состояние 2; c_{24} – показатель перехода условий полета ВС из состояний 0 и 2 в состояние 4; c_{25} – показатель перехода условий полета ВС из состояний 2 и 4 в состояние 5; c_{23} – показатель перехода условий полета ВС из состояния 2 в состояние 3; c_{14} – показатель перехода условий полета ВС из состояния 1 в состояние 4; c_{35} – показатель перехода условий полета ВС из состояния 0 в состояние 5.

Из рисунка видно, что состояния условий полета воздушного судна взаимосвязаны непосредственным переходом одного состояния в другое, а также переходом через промежуточное состояние.

Используя уравнения Колмогорова-Чепмена и граф состояния безопасности полета ВС, получим систему уравнений скорости изменения оценки безопасности полета в ее различных состояниях (**система уравнений безопасности полета**):

$$\begin{aligned} \frac{dY_0(t)}{dt} &= z_{11}(t)Y_1(t) + z_{13}(t)Y_3(t) + z_{15}(t)Y_5(t) + z_{24}(t)Y_4(t) + \\ &+ z_{22}(t)Y_2(t) - (c_{11} + c_{22} + c_{35} + c_{13} + c_{24})Y_0(t); \\ \frac{dY_1(t)}{dt} &= c_{11}Y_0(t) - (c_{13} + c_{14} + c_{15})Y_1(t) - z_{11}(t)Y_1(t); \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{dY_2(t)}{dt} &= c_{22}Y_0(t) - (c_{23} + c_{24} + c_{25})Y_2(t) - z_{22}(t)Y_2(t); \\ \frac{dY_3(t)}{dt} &= c_{13}(Y_1(t) + Y_0(t)) - z_{13}(t)Y_3(t); \\ \frac{dY_4(t)}{dt} &= c_{24}(Y_2(t) + Y_0(t)) - z_{24}(t)Y_4(t); \\ \frac{dY_5(t)}{dt} &= c_{15}(Y_3(t) + Y_1(t)) + c_{25}(Y_4(t) + Y_2(t)) + \\ &+ c_{35}Y_0(t) - z_{15}(t)Y_5(t), \end{aligned}$$

где $Y_0(t), Y_1(t), Y_2(t), Y_3(t), Y_4(t), Y_5(t)$ – оценка безопасности полета воздушного судна в нормальных, сложных, аварийный и катастрофических условиях полета.

Таким образом, вычисление сигнала управления безопасностью полета воздушного судна заключается в решении системы уравнений (8) для текущего условия полета ВС при заданных начальных и граничных условиях сигнала управления (7), известном состоянии условия полета ВС, а также показателей перехода между условия полета ВС.

В **третьей главе** предложен метод оценки влияния внешних и внутренних воздействующих факторов на безопасность полета воздушного судна. Предлагаемый метод заключается в оценке угрозы АП под воздействием внешних и внутренних факторов, разделенных на три группы: психофизическое состояние экипажа, состояние объекта управления, погодные условия, которые обрабатываются алгоритмами нечеткой логики. Указанные характеристики, влияющие на безопасность полета ВС, и способ их регистрации представлены в таблице 1 (см. ниже).

Наиболее важным в разрабатываемом методе является обработка данных процедурой нечеткой логики, на основе которой получается информация об изменении состояния объекта и систем управления, а также, при необходимости, формирование сигналов регулирования. Для решения рассматриваемых задач с применением алгоритмов на основе нечеткой логики множество нечетких правил представляют в виде матрицы прецедентов.

На основе матрицы прецедентов оценивается угроза АП из-за множества внешних и внутренних факторов. Кроме этого, эта информация позволяет определить условия полета ВС. При распознавании угрозы АП весьма важным является достоверность получаемой оценки сложных условий полета ВС. Это обусловлено непосредственным влиянием усложнения условий полета на АП.

Таблица 1 – Перечень переменных, влияющих на безопасность полета ВС

№	Группа	Переменная	Способ измерения	Лингвистические значения переменной
1	Психофизическое состояние пилота	Усталость	По датчику реакции зрачка, тензодатчики	низкая f_1 средняя f_2 высокая f_3
		Внимание	По датчику реакции зрачка	высокое k_1 среднее k_2 , низкое k_3 , рассеян k_4 ,
		Уровень подготовки	Тестовые задания пилоту	высокий f_1 средний f_2 , низкий f_3 ,
		Стресс	По датчику реакции зрачка	нет k_1 , низкий k_2 , средний k_3 , высокий k_4
2	Состояние воздушного судна	Отказ функциональн о значимых элементов	Средства сигнализации и индикации отказов	незначительный f_1 , аварийный f_2 , катастрофический f_3
		Деформация силовых элементов конструкции	Датчики измерения силовых нагрузок	отсутствует k_1 , незначительная k_2 , существенная k_3 , критическая k_4
		Управляемость и устойчивость ВС	Характеристика объекта управления	высокий f_1 средний f_2 , низкий f_3 ,
		Ошибка в ПО СУ ВС	Средства выявления отказа функции СУ ВС	нет k_1 , незначительная k_2 , существенная k_3 , критическая k_4
3	Погодные условия	Встречный ветер	Изменение параметров полета ВС	слабый f_1 , средний f_2 , сильный f_3
		Боковой ветер	Изменение параметров полета ВС	слабый f_1 , средний f_2 , сильный f_3
		Видимость	Фотоэлементы	хорошая k_2 , плохая k_1 ,

Используя матрицу прецедентов, значения входных переменных СУБ полета ВС, выполнены моделирование и анализ оценки угрозы АП на базе используемых в настоящее время показателей безопасности полета ВС

(техническое состояние объекта управления и внешних воздействующих факторов) и дополнительных показателей, характеризующих психофизическое состояние экипажа. Результаты моделирования представлены на рисунке 5.

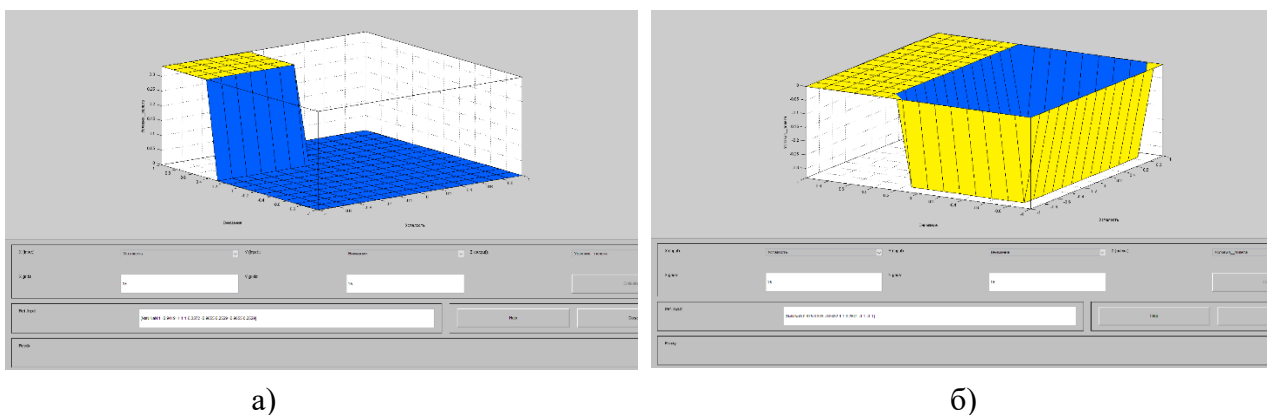


Рисунок 5 – Результаты моделирования условий полета ВС без учета и учетом психофизического состояния экипажа

Из рисунка 5а видно, что оценка условий полета без учета психофизического состояния экипажа принимает значение «0,33», что соответствует сложным условиям полета. При этом введение дополнительного воздействующего фактора безопасности полета, который является психофизическим состоянием экипажа, наряду с показателями, характеризующими техническое состояние ВС и внешние воздействующие факторы, позволило установить, что действительные значения оценки условий полета принимают значения «-0,33» что соответствует аварийной ситуации (рисунок 5б).

Таким образом, введение совместно с показателями технического состояния ВС и внешних воздействующих факторов, влияющих на безопасность полета ВС, группы переменных, характеризующих психофизическое состояние экипажа, позволяет повысить точность оценки угрозы происшествия и, как следствие, выработать более эффективные управленческие решения по ее парированию. Поэтому предложенный метод распознавания угрозы авиационного происшествия, построенный на базе алгоритмов нечеткой логики, может быть использован при проектировании СУБ ВС, а именно программно-алгоритмического обеспечения устройства предварительной обработки входных переменных.

Четвертая глава посвящена разработке метода прогнозирования развития авиационного происшествия, особенность которого заключается в определении

значений, характеризующих изменение переменных, влияющих на безопасность полета воздушного судна, с последующим их использованием для оценки условий полета. Преимущество этого метода заключается в повышении степени достоверности определения угрозы и последствий АП в процессе управления ВС, что достигается прогнозированием изменения разнородных переменных, влияющих на безопасность его полета.

Прогнозирование угрозы АП заключается в определении момента времени, в который оценка условия полета принимает критические значения $X'(t) = X'_{\text{крит.}}(t)$ с момента начала до окончания угрозы происшествия. Тогда интервал начала и окончания прогнозирования $[t_{\text{нач.прог.}}; t_{\text{окон.прог.}}]$ можно определить появлением и завершением сложных условий полета ВС, аварийной и катастрофической ситуаций. Учитывая, что изменение внешних и внутренних воздействующих факторов на условия полета ВС могут являться случайными и детерминированными процессами, то их прогнозирование целесообразно проводить с использованием методов инженерного анализа, оптимального прогнозирования и исследований психофизического состояния экипажа.

Прогнозирование угрозы происшествия содержит три основных этапа: 1) определение изменения контролируемых переменных за период $[0; t_{\text{нач.прог.}}]$, 2) построение их зависимостей на участке времени прогноза, 3) оценка критических значений этих переменных на участке прогноза с определением времени их наступления. Причем каждая контролируемая переменная описывается собственной временной зависимостью, которая определяется способом построения и интервалом прогнозирования.

На основе определения изменений технического состояния ВС, характеристик условий его полета и психофизического состояния экипажа, можно построить их зависимости на участке времени $[t_{\text{нач.прог.}}; t_{\text{окон.прог.}}]$. После получения прогнозируемых значений контролируемых переменных X_1, X_2, X_3 на участке $[t_{\text{нач.прог.}}; t_{\text{окон.прог.}}]$ осуществляется оценка условий полета с использованием набора правил с определением момента наступления критической ситуации.

В результате применения предложенного способа к прогнозированию угрозы происшествия можно выявить причину, влияющую на ее наличие на заданном участке времени, а также сформировать рекомендации пилоту по устранению АП. Отличительная особенность метода заключается в использовании профиля – функций изменения каждой контролируемой

переменной, влияющей на условия полета судна, что повышает качество парирования авиационного происшествия.

Также в работе представлен алгоритм его реализации программными и аппаратными средствами системы управления безопасностью полета воздушного судна. На рисунке 6 представлена блок-схема алгоритма прогнозирования угрозы авиационного происшествия.

Блок-схема алгоритма содержит следующие основные этапы:

Блок 1. Инициализация входных переменных функций $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$, где $X_1(t)$ – психофизическое состояние экипажа; $X_2(t)$ – состояние воздушного судна, $X_3(t)$ – погодные условия.

Блок 2. Проверка условия, что оценка условий полета $Y(t)$ соответствует угрозе происшествия на участке времени $[t_{\text{нач.прог.}}; t_{\text{окон.прог.}}]$.

Блок 3. Построение профиля функций контролируемых переменных на интервале $[t_0; t_{\text{окон.прог.}}]$.

Блок 4. Цикл оценки прогнозируемого условия полета воздушного судна.

Блок 4.1 Выбор контролируемой переменной на основе зависимости профиля функций, определение критического значения контролируемой переменной и момента времени, когда оно наступает ($t_{\text{нач. крит.}}$).

Блок 4.2 Запись полученных значений в базу данных системы управления безопасностью полета ВС.

Блок 4.3. Определение изменений условий полета $Y^*(t)$ на участке времени $[t_{\text{нач.прог.}}; t_{\text{окон.прог.}}]$.

Блок 4.4. Проверка условия, что прогнозируемое значение $Y^*(t)$ соответствует критическому значению (катастрофическому и аварийному состоянию).

Блок 4.5. Определение момента времени, в который $Y^*(t) = Y_{\text{крит.}}$.

Блок 4.6. Передача данных $T_{\text{прог.крит.}}$, $Y_{\text{крит.}}$ в устройство поддержки принятия решений.

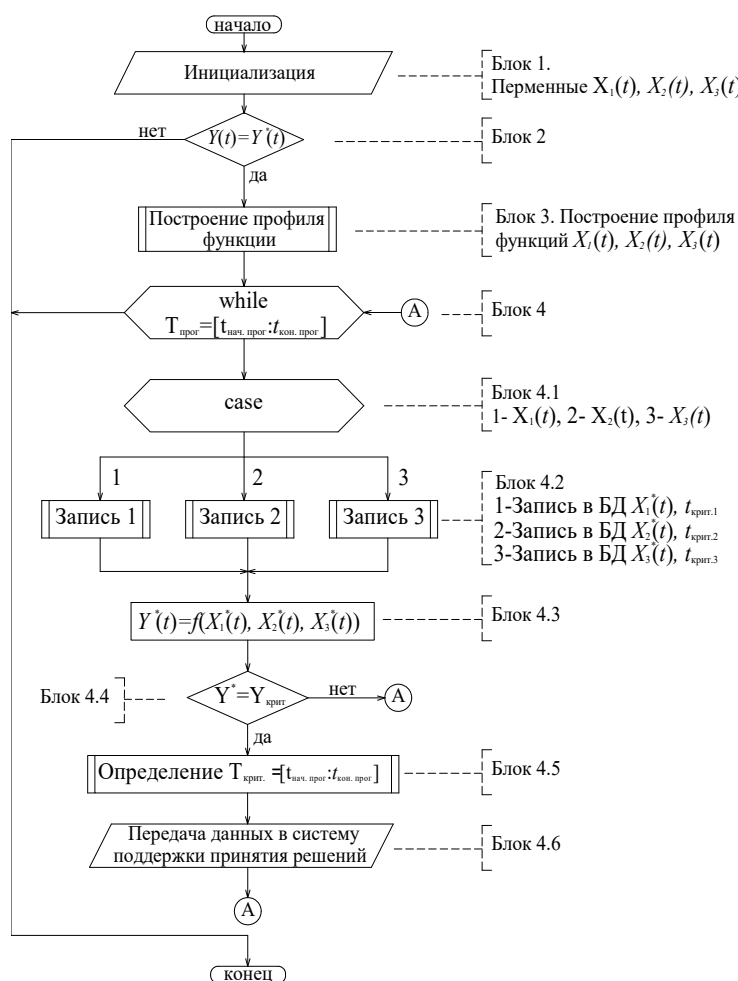


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритма прогнозирования авиационного происшествия

Предложенный алгоритм позволяет реализовать метод прогнозирования АП с учетом изменения значений контролируемых воздействующих факторов.

На рисунке 7 представлены результаты моделирования алгоритма прогнозирования угрозы АП, при условии, что полет выполняется в хороших погодных условиях с незначительными отказами функциональных элементов его оборудования и со средними психофизическими показателями экипажа.

Из рисунка 7а видно, что переменные психофизического состояния экипажа $X_1(t)$ имеют следующие распределение во времени:

– усталость $x_{11}(t)$ на участке времени $[0; 6]$ ч.: соответствует низкому уровню $[-0,5; 0]$, которая под влиянием длительных физических нагрузок возрастает от 0 до 1,0 в интервале прогнозирования $T_{\text{прог}} = [6; 10]$ ч.;

– внимание $x_{12}(t)$ на участке времени $[0; 6]$ ч.: соответствует высокому уровню с понижением до границы среднего уровня 0,5, которая согласно прогнозу под влиянием монотонных нагрузок понижается до 1,0 в интервале времени $T_{\text{прог}} = [6; 10]$ ч.;

- уровень подготовки экипажа $x_{13}(t)$ за время полета у пилота остается неизменным;
- стресс $x_{14}(t)$, за время полета отсутствует.

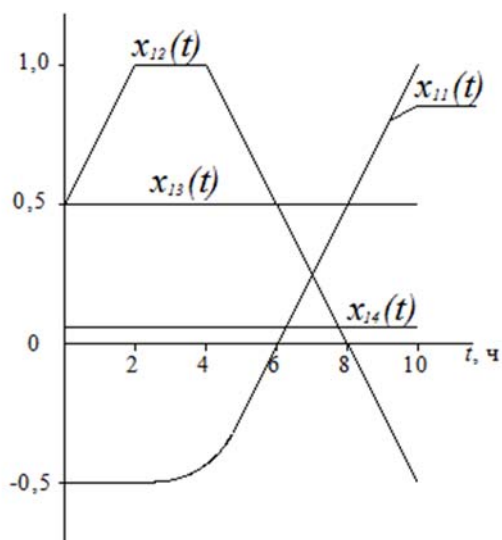
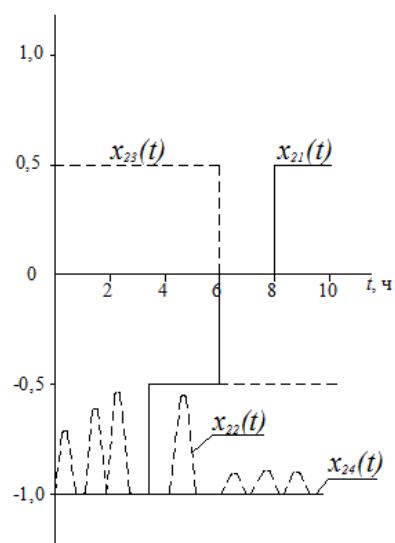
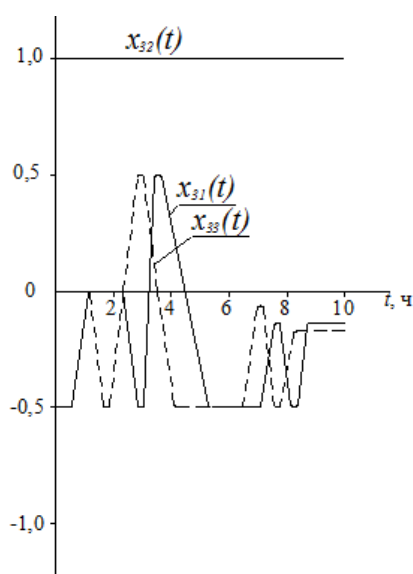
а) Профиль функции $X_1(t)$ б) Профиль функции $X_2(t)$ в) Профиль функции $X_3(t)$

Рисунок 7 – Профили функций прогнозирования изменения условий полета ВС

Переменные, характеризующие состояния объекта управления $X_2(t)$, изменяются следующим образом (рисунок 7б):

- отказ функционально значимых элементов системы управления ВС $x_{21}(t)$ на участке времени $[0; 6]$ ч. соответствует незначительному отказу $[-0,5; 0]$; учитывая, что любой последующий отказ функционально значимого элемента способен привести к аварийному состоянию воздушного судна, то в

период $T_{\text{прог}} = [6; 10]$ ч. $x_{21} = [0; 0,5]$, что соответствует аварийному состоянию;

– деформация силовых элементов $x_{22}(t)$ на участке времени $[0; 6]$ ч. имеет случайный характер и соответствует ее отсутствию; учитывая, что ее значения имеют случайное распределение, тогда применяя метод статистического прогноза, определим изменение $x_{22}(t)$ на участке времени $T_{\text{прог}} = [6; 10]$ ч., согласно которому она отсутствует;

– управляемость ВС $x_{23}(t)$ на участке времени $[0; 6]$ ч. соответствует среднему состоянию $[0,5; 0]$; учитывая, что любой отказ функционально значимого элемента влияет на управляемость ВС, то ее состояние момент период прогнозирования $T_{\text{прог}} = [6; 10]$ ч. изменится со среднего до низкого;

– ошибка в ПО $x_{24}(t)$ за время полета отсутствует.

Переменные, характеризующие погодные условия полета ВС $X_3(t)$ (рисунок 7в), имеют следующее распределение по времени:

– значения встречного и бокового ветра $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$ на участке времени $[0; 6]$ ч., соответствуют переходу от слабого состоянию $[-0,5; 0]$ до среднего значения $[0; 0,5]$ и обратно к слабому. Из рисунка изменения зависимостей $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$ видно, что их распределение во времени являются случайными процессами. Тогда, применяя метод статистического прогноза, определим изменение $x_{31}(t)$, $x_{32}(t)$ на участке времени $T_{\text{прог}} = [6; 10]$ ч., согласно которому встречный и боковой ветра в течение заданного промежутка времени отсутствуют;

– видимость $x_{33}(t)$ на участке времени $[0; 6]$ ч. соответствует хорошему состоянию без изменений и, следовательно, за время $T_{\text{прог}} = [6; 10]$ ч. не изменяется.

Отметим, что среднеквадратичная погрешность прогноза изменения переменных $x_{22}(t)$, $x_{31}(t)$, $x_{33}(t)$ на участке $[t_{\text{нач.прог.}}; t_{\text{окон.прог.}}]$ не превышает 3%. На основе изменения контролируемых переменных на интервале времени прогноза можно определить время наступления их критических значений. Применяя интеллектуальный метод оценки угрозы АП, получим $Y^*(t) = -0,5$ при $t = T_{\text{крит.}} = [6; 10]$ ч., что свидетельствует о переходе сложной ситуации полета воздушного судна в аварийную за рассматриваемый промежуток времени от начала полета.

Таким образом, используя различные методы прогноза изменения каждого контролируемого параметра внешних и внутренних воздействующих факторов

на условия полета судна, а также интеллектуальный метод оценки угрозы авиационного происшествия, можно осуществить прогноз их изменения в процессе его управления.

В **пятой главе** представлен способ поддержки принятия решений (ППР) экипажа, позволяющий формировать рекомендации пилоту и сигналы в систему управления ВС для парирования угрозы АП, исходя из текущих и прогнозируемых условий полета воздушного судна. Решение поставленной задачи сводится к выполнению следующих этапов: формализация входных переменных алгоритма; формирование набора правил поддержки принятия решений; моделирование оценки угрозы АП.

Структурная схема поддержки принятия решений экипажем приведена на рисунке 8.

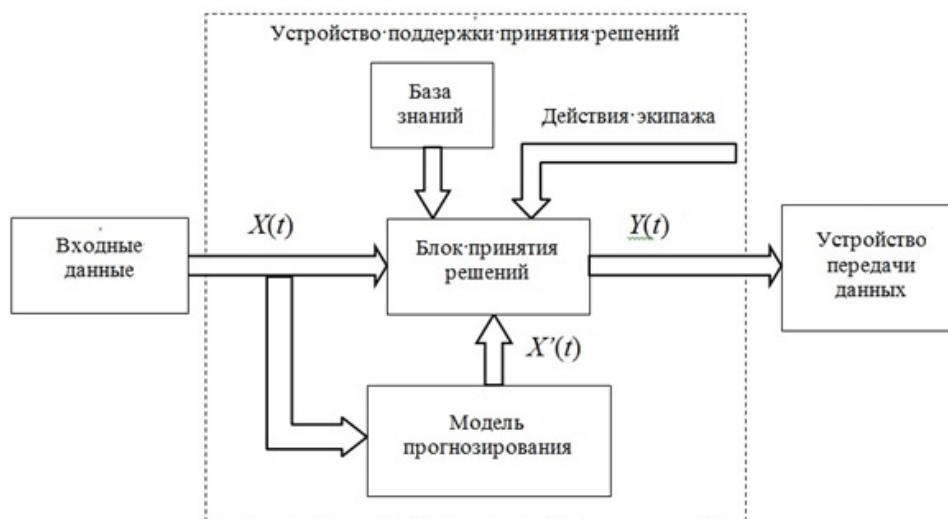


Рисунок 8 – Структурная схема устройство поддержки принятия решений

Здесь $X(t)$ – массив входных данных после предварительной обработки; $\tilde{X}(t)$ – результаты прогнозирования угрозы АП; $Y(t)$ – выходные значения устройства поддержки принятия решений, характеризующие рекомендации пилоту по парированию угрозы авиационного происшествия или сигналы для парирования автоматикой.

Входными переменными устройства являются внешние и внутренние факторы, влияющие на безопасность полета воздушного судна, такие как техническое состояние объекта управления, психофизические характеристики экипажа, погодные условия полета. Также на вход блока поддержки принятия решений поступают значения прогноза изменения контролируемых переменных и результаты оценки условий полета судна. На выходе системы формируются рекомендации пилоту по нейтрализации угрозы авиационного происшествия или

сигналы ее парирования средствами автоматического управления. Формализованное представление входных переменных блока принятия решений представлено в таблице 1, каждая группа характеризуется множеством входных переменных, которые оценивают состояние факторов и их воздействие на полет ВС.

Правило поддержки принятия решений имеет достаточно сложную структуру, реализация которой может привести к высоким вычислительным затратам. Поэтому набор правил поддержки принятия решений структурирован на группы условий полета ВС. Учитывая разделение условий полета судна на классы угрозы авиационного происшествия и применяя матрицу прецедентов, получим следующий набор правил поддержки принятия решений.

Условия полета безаварийные $Z = k_1$:

$$\begin{aligned} \text{ПРАВИЛО } \langle 1 \rangle: & \text{ ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_1\} \quad (9) \\ & \text{ ТО } Y = \{g_1\}, \end{aligned}$$

где g_1 – угроза АП отсутствует, нейтрализация не требуется.

Условия полета сложные $Z = k_2$:

$$\begin{aligned} \text{ПРАВИЛО } \langle 2.1 \rangle: & \text{ ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_3, k_3\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_2\} \\ & \text{ ТО } Y = \{g_2\}, \\ \text{ПРАВИЛО } \langle 2.2 \rangle: & \text{ ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_3, k_4\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_2\} \quad (10) \\ & \text{ ТО } Y = \{g_2\}, \\ \text{ПРАВИЛО } \langle 2.3 \rangle: & \text{ ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_2, k_2\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_2\} \\ & \text{ ТО } Y = \{g_2\}, \end{aligned}$$

где g_2 – угроза АП парируется средствами автоматики, осуществляется повышение управляемости объекта сигналами от систем автоматического управления, улучшения устойчивости и управляемости.

Условия полета аварийные $Z = k_3$:

$$\begin{aligned} \text{ПРАВИЛО } \langle 3.1 \rangle: & \text{ ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_1, k_3\} \text{ И } X_{2j} = \{f_3, k_4\} \text{ И } X_{3j} = \{f_2, k_1\} \\ & \text{ ТО } Y = \{g_3\}, \\ \text{ПРАВИЛО } \langle 3.2 \rangle: & \text{ ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{2j} = \{f_2, k_4\} \text{ И } X_{3j} = \{f_3, k_1\} \\ & \text{ ТО } Y = \{g_3\}, \\ \text{ПРАВИЛО } \langle 3.3 \rangle: & \text{ ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_3, k_4\} \text{ И } X_{2j} = \{f_2, k_3\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_1\} \quad (11) \\ & \text{ ТО } Y = \{g_4\}, \\ \text{ПРАВИЛО } \langle 3.4 \rangle: & \text{ ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_2, k_2\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_3, k_2\} \\ & \text{ ТО } Y = \{g_4\}, \end{aligned}$$

где g_3 – сигнализация экипажу об отказах на борту объекта управления, угрозе АП с последующей нейтрализацией пилотом по рекомендации речевого транслятора; g_4 – сигнализация экипажу об отказах на борту объекта управления, угрозе с последующей нейтрализацией реконфигурацией системы управления объекта и посадкой на ближайшую пригодную площадку.

Условия полета катастрофические $Z = k_4$:

ПРАВИЛО <4.1>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_2, k_3\}$ И $X_{2j} = \{f_3, k_4\}$ И $X_{3j} = \{f_2, k_1\}$

ТО $Y = \{g_5\}$,

ПРАВИЛО <4.2>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_2, k_4\}$ И $X_{2j} = \{f_3, k_4\}$ И $X_{3j} = \{f_3, k_4\}$

ТО $Y = \{g_5\}$,

(12)

где g_5 – сигнализация экипажу об отказах на борту объекта управления, угрозе АП с требованием покинуть объект управления.

На базе полученного набора правил и входной информации для блока принятия решений предлагается алгоритм парирования угрозы АП. Выходными данными алгоритма в процессе его программной реализации являются «световая» и «речевая» информация об изменении условий полета и угрозе происшествия. На рисунке 9 представлена блок-схема алгоритма поддержки принятия решений по парированию угрозы АП.

Согласно представленной схеме, алгоритм поддержки принятия решений по парированию угрозы АП работает следующим образом.

Блок 1. Инициализация входных переменных, характеризующих состояние условия полета воздушного судна по результатам предварительной обработки внешних и внутренних воздействующих факторов.

Блок 2. Определение отсутствия угрозы происшествия. Если угроза происшествия отсутствует, то

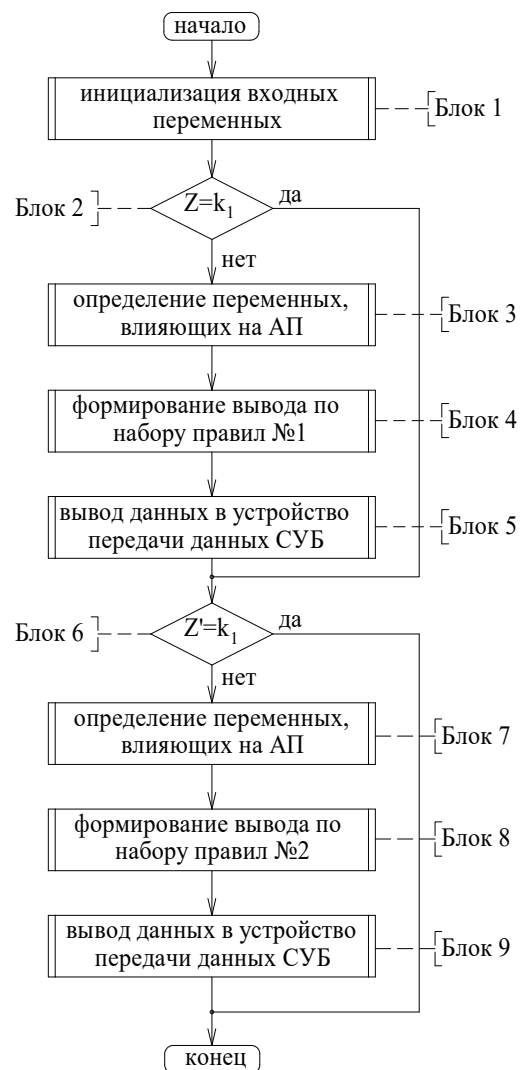


Рисунок 9 – Блок схема алгоритма поддержки принятия решений парирования угрозы авиационного происшествия

осуществляется переход к анализу результатов прогноза изменения контролируемых переменных и условий полета ВС.

Блок 3. Если условие по блоку 2 не выполняется, то осуществляется процедура определения переменных, влияющих на АП, сравнение их с эталонными значениями, а также со значениями переменной условия полета ВС.

Блок 4. Выполняется формирование способа парирования угрозы происшествия в соответствии с набором правил для текущей угрозы (набор правил 1) с последующим выводом рекомендаций и команд управлений в системы комплекса бортового оборудования.

Блок 5. Выполняется передача данных по способу парирования угрозы АП под воздействием текущих значений переменных, влияющих на безопасность полета, представленная в форме команды, поступающей на вход систем оповещения и управления комплекса бортового оборудования ВС.

Блок 6. Определение отсутствия прогнозируемой угрозы авиационного происшествия. Если условие выполняется, то осуществляется переход в конец программы.

Блок 7. Если условие не выполняется, то реализуется процедура определения значений переменных, влияющих на угрозу АП по результатам прогнозирования.

Блок 8. Формируется способ парирования потенциальной угрозы авиационного происшествия.

Блок 9. Выполняется передача данных по способу парирования угрозы авиационного происшествия с учетом прогнозируемых значений переменных, влияющих на безопасность полета, представленная в форме команды, поступающей на вход систем оповещения и управления комплекса бортового оборудования ВС.

В процессе численного моделирования получены следующие состояния условия полета ВС:

– при лингвистических переменных, равных единице, значение условий полета составляет 1.0, что соответствует безаварийному режиму полета, следовательно, угроза авиационного происшествия отсутствует и нейтрализация угрозы не требуется при значении $Y = 0.8$;

– при лингвистических переменных входных переменных, равных -1 , значение условий полета составляет -1.0 , что соответствует катастрофическому условию полета, т.е. под влиянием совокупности воздействующих факторов

создается угроза совершения катастрофического происшествия и требуется эвакуация экипажа при значении $Y = -0.8$;

– при лингвистических входных переменных, соответствующих сложным условиям полета (невысокий уровень управляемости ВС и повышение усталости экипажа от монотонной нагрузки), требуется улучшение условий полета средствами автоматики, что соответствует $Y = 0.5$.

На основе результатов численного моделирования можно определить соответствие набора правил устройства поддержки принятия решений критериям полноты и отсутствия противоречивости. Так ситуация при индексе полноты ИП = 1 соответствует учету всех возможных состояний входных переменных и изменений условий полета. В свою очередь, справедливость соотношения для индекса противоречивости $ИПР \leq 0,4$ характеризует отсутствие противоречивости между выходными переменными набора правил поддержки принятия решений при одинаковых значениях входных переменных.

Предложенный алгоритм позволяет сформировать рекомендации экипажу и сигналы управления по нейтрализации угрозы авиационного происшествия с учетом прогнозируемого изменения внешних и внутренних воздействующих факторов на условия полета ВС.

В **шестой главе** представлена система управления безопасностью полета воздушного судна, принцип действия которой направлен на обнаружение, прогнозирование и нейтрализацию угрозы авиационного происшествия. Структурная схема системы управления безопасностью полета представлена на рисунке 10.

Согласно структурной схеме основным элементом системы является устройство поддержки принятия решений, которое на основе полученной информации об условиях полета воздушного судна, прогноза их изменения и действия экипажа формирует рекомендации пилоту для нейтрализации угрозы происшествия. Также в системах подобного класса при отсутствии парирования угрозы со стороны экипажа судна предотвращение авиационного происшествия осуществляется средствами автоматического управления.

Необходимо отметить, что система управления безопасностью полета относится к критическим системам бортового оборудования судна, что, в свою очередь, обуславливает высокие требования к достоверности оценки угрозы АП. Поэтому на этапе предварительной обработки информации формируются сигналы оценки условий безопасности полета судна на базе полученных данных, характеризующих внешние и внутренние воздействующие факторы.

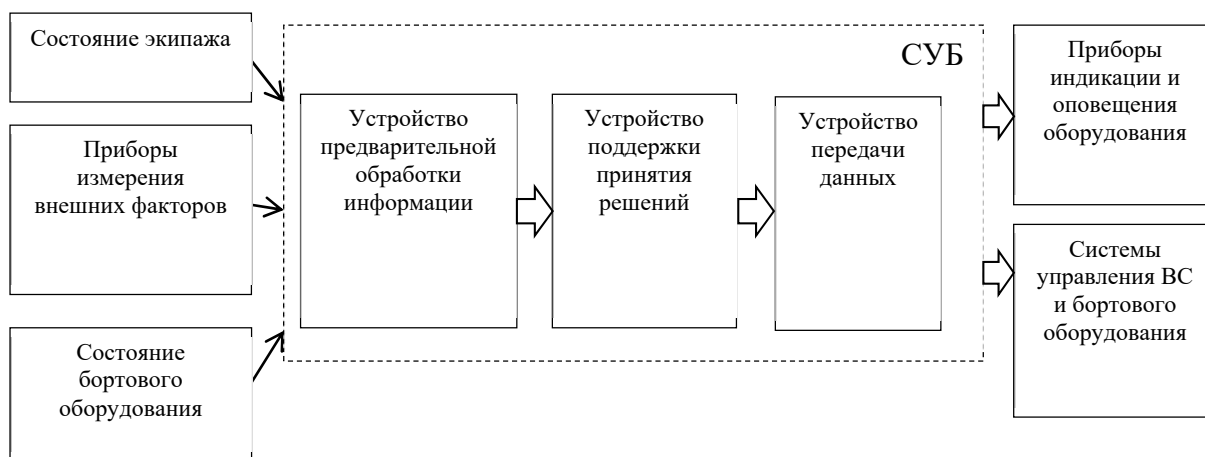


Рисунок 10 – Структурная схема системы управления безопасностью полета ВС

Применяя двухуровневую процедуру оценки условий полета ВС (контуры предварительной обработки данных и поддержки принятия решений) с прогнозированием ее изменений в программно-алгоритмическом комплексе системы, можно исключить формирование ложных сигналов для парирования угрозы происшествия.

Устройство поддержки принятия решений СУБ ВС содержит базу знаний с набором правил, на основе которых осуществляется оценка угрозы АП, и блок прогноза изменения условий полета ВС. Входными переменными устройства являются результаты предварительной обработки данных, характеризующих внешние и внутренние воздействующие факторы. Причем эти факторы могут классифицироваться на три основные группы: психофизическое состояние экипажа, техническое состояние объекта управления и внешние воздействия на него. На основе имеющихся данных формируются рекомендации пилоту по нейтрализации угрозы АП или сигналы ее парирования средствами автоматического управления.

В процессе выполнения работы на основе структурной схемы, логики работы и методов оценки и парирования угрозы авиационного происшествия разработан алгоритм функционирования системы управления безопасностью полета ВС, который содержит следующие основные этапы: инициализация значений первичного сигнала; предварительная обработка входных данных: распознавание вида АП и его последствия; передача полученных результатов в системы управления и оповещения. Предложенная блок-схема алгоритма функционирования системы управления безопасностью полета имеет вид, представленный на рисунке 11.

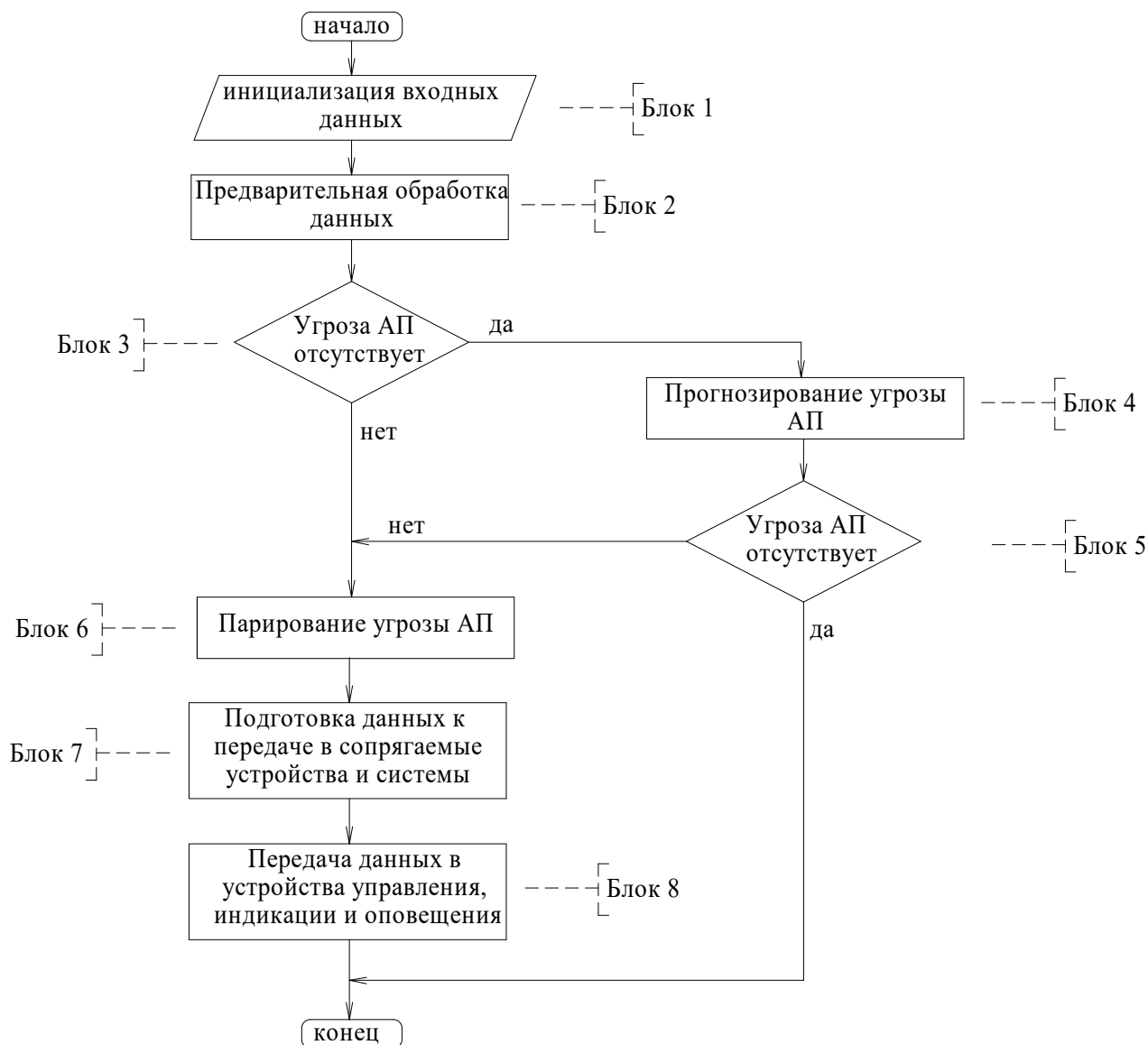


Рисунок 11 – Блок-схема функционирования СУБ, где АП – авиационное происшествие

Согласно представленной схеме, система управления безопасностью полета ВС функционирует следующим образом:

Блок 1. Получение и инициализация входных данных от сопрягаемых систем и устройств бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО).

Блок 2. Предварительная обработка входных данных системы.

Блок 3. Проверяется условие на наличие угрозы АП (аварийной и катастрофической ситуации). Если угроза происшествия отсутствует, то осуществляется переход к блоку 4, иначе к блоку 6.

Блок 4. Выполняется прогнозирование развития происшествия и его исключение на базе набора правил, определяющих его наличие и влияние на управление воздушным судном.

Блок 5. Проверяется условие появления угрозы АП (аварийной и катастрофической ситуации) в процессе полета. Если угроза происшествия отсутствует, то осуществляется выход из программы, иначе выполняется переход к блоку 6.

Блок 6. Производится формирование сигнала парирования угрозы авиационного происшествия.

Блок 7. Подготовка данных парирования угрозы АП для передачи в сопрягаемые с СУБ системы и устройства.

Блок 8. Выполняется передача полученных результатов в устройства индикации, оповещения и системы управления воздушным судном.

Предложенная в процессе выполнения работы система управления безопасностью полета реализует методы и алгоритмы оценки, прогнозирования и парирования угрозы АП на основе применения аппарата нечеткой логики и устройства поддержки принятия решений, что позволит своевременно оповестить экипаж о причине угрозы АП и выдать ему рекомендации по парированию ее развития.

Седьмая глава посвящена анализу взаимодействия системы управления безопасностью полета с сопрягаемым оборудованием воздушного судна, который строится на определении пропускной способности передачи информации по линиям связи, исследовании отказов системы и потери ее функций при отказах сопрягаемого оборудования.

Структурная схема взаимодействия системы управления безопасностью полета воздушного судна с комплексом его бортового оборудования представлена на рисунке 12.

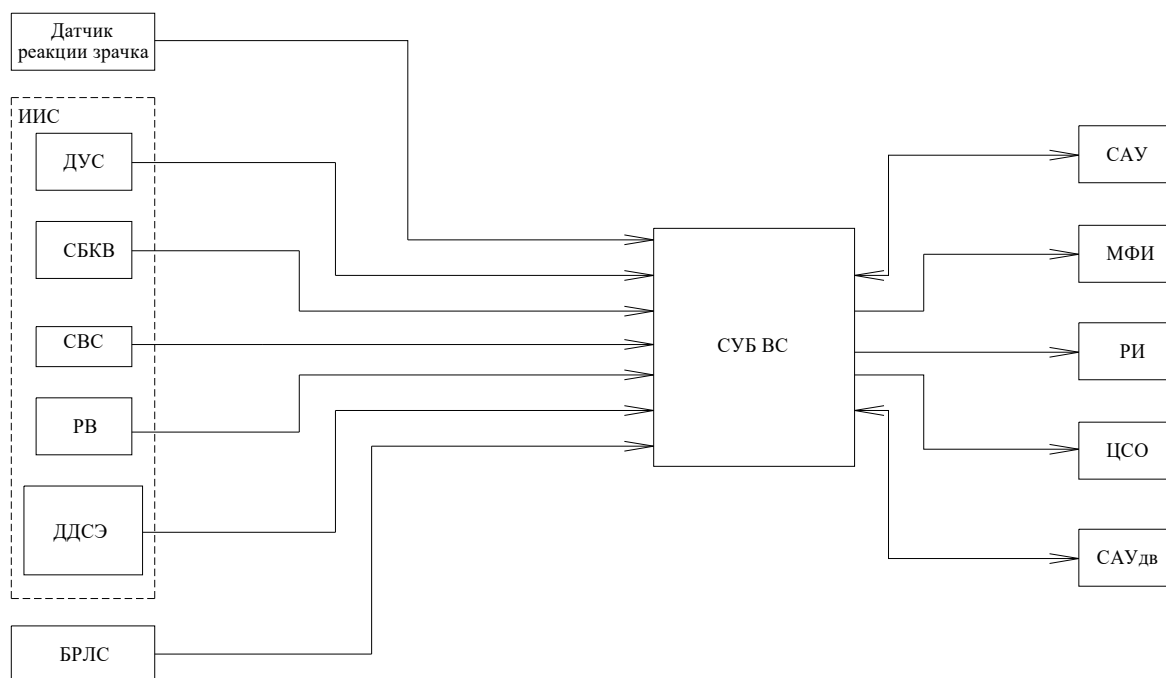


Рисунок 12 – Схема взаимодействия СУБ с комплексом бортового оборудования ВС

где ИИС – информационно-измерительные системы, ДУС – датчик угловых скоростей, СБКВ – система бортовой курсоверткали, СВС – система воздушных сигналов, РВ – радиовысотомер, САУ – система автоматического управления, МФИ – многофункциональный индикатор, РИ – речевой информатор, ЦСО – цифровая система оповещения, САУ_{дв} – система автоматического управления двигателями ВС, БРЛС – бортовая радиолокационная станция, ДДСЭ – датчики деформации силовых элементов, СУБ ВС – система управления безопасностью полета воздушного судна.

Согласно представленной структурной схеме, система взаимодействует с комплексом бортового оборудования по цифровым линиям связи поддерживающих интерфейс ARINC 664. Обмен данными между системой и сопрягаемым оборудованием осуществляется с частотой 500 Гц при общем объеме поля данных в сообщении 148 байт. В результате вычисления пропускной способности линии связи системы с комплексом бортового оборудования воздушного судна, определено, что загрузка линии передаваемыми сообщениями составляет 1,82 Мбит при допустимом значении 75 Мбит.

В процессе выполнения работы предложена и апробирована методика испытаний системы управления безопасностью полета ВС на стенде наземной отработки.

Оценка работоспособности системы осуществляется по результатам регистрации: данных, формируемых системой и выдаваемых в средства бортовой

индикации и оповещения экипажа (команды наличия и парирования угрозы авиационного происшествия); наличие / отсутствию индикации активности системы; сигналов, формируемых устройствами предварительной обработки информации и поддержки принятия решений: нормированные значения входных сигналов, текущие и прогнозируемые условия пролета воздушного судна, команды по парированию угрозы авиационного происшествия.

Достоверность полученных результатов подтверждается их соответствием данным, указанным в требованиях к системе, а также к ее аппаратному и программному обеспечению.

Наземные испытания системы управления безопасностью полета воздушного судна содержат следующие этапы.

1. Подключение системы управления безопасностью полета к имитаторам информационно-измерительных устройств бортового оборудования объекта управления.

2. Передача информации от сопрягаемого оборудования на вход системы.

3. Регистрация и запись выходной информации системы.

4. Оценка работоспособности программного и аппаратного обеспечения системы на основе сравнения текущих и заданных значений выходных переменных системы и ее устройств.

5. Повторение п. 2 в условиях имитации отказа сопрягаемого оборудования и функциональных элементов системы.

Повторение п. 3 и п. 4 испытания системы управления безопасностью полета.

Согласно предложенной методике, наземные испытания системы осуществляются в штатном режиме работы, в условиях отказа сопрягаемого оборудования, а также ее функциональных элементов. В процессе испытания оператором задаются различные условия полета воздушного судна и взаимодействия системы с комплексом бортового оборудования. При этом отказы системы и сопрягаемого оборудования задаются с экрана персонального компьютера оператора, а также разрывом линий соединения системы с комплексом бортового оборудования.

Таким образом, наземные испытания системы управления безопасностью полетом воздушного судна, позволяют выявить ее достоинства и недостатки в различных условиях эксплуатации, определить соответствие заданным требованиям ее программного и аппаратного обеспечения. Предложенная методика испытаний может быть использована на этапе предварительных

испытаний системы в процессе выполнения опытно-конструкторских работ по ее созданию.

Для наземных испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна предложен стенд наземной отработки, структурная схема которого представлена на рисунке 13.

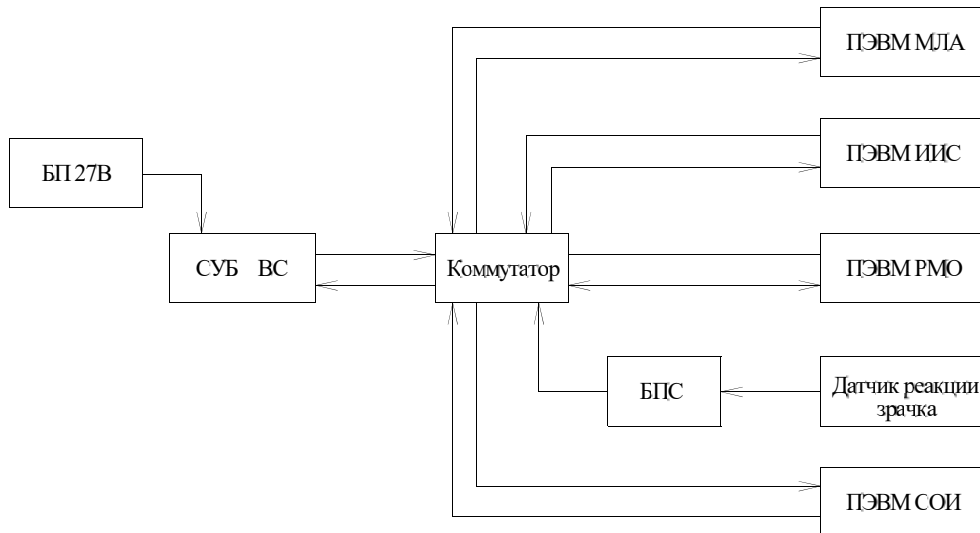


Рисунок 13 – Структурная схема стенда наземных испытаний СУБ ВС

Здесь СУБ ВС – система управления безопасностью полета воздушного судна, БП 27 В – блок питания 27 В, ПЭВМ МЛА – персональная электронно-вычислительная машина модели летательного аппарата, ПЭВМ ИИС – персональная электронно-вычислительная машина информационно-измерительных систем, ПЭВМ СОИ – персональная электронно-вычислительная машина систем отображения и индикации, ПЭВМ РМО – персональная электронно-вычислительная машина рабочего места оператора, БПС – блок преобразования сигналов

Из структурной схемы видно, что система управления безопасностью полета воздушного судна подключается к оборудованию стенда по цифровым линиям связи Ethernet аналогично подключению к комплексу бортового оборудования судна. Стенд наземных испытаний содержит имитаторы информационно-измерительных систем воздушного судна, его математическую модель, датчик реакции зрачка. Соединение датчика реакции зрачка с системой осуществляется через блок преобразования сигналов. Стенд может работать в режиме проверки работоспособности и оценки безопасности системы. В первом случае осуществляется отработка алгоритмов оценки и парирования угрозы авиационного происшествия программными средствами стендовой аппаратуры.

Во втором – оценивается степень влияния отказов системы управления безопасностью полетов, а также отказов оборудования, сопрягаемого с ней на безопасность полета воздушного судна.

Таким образом оценка работоспособности программного и аппаратного обеспечения системы осуществляется на основе соответствия ее выходных переменных заданным значениям, указанным в требованиях к системе, ее к программному и аппаратному обеспечению.

С использованием полученных данных об угрозе происшествия проведены испытания программного обеспечения устройства поддержки принятия решений экипажем, разработанного в т.ч. с использованием языка программирования искусственного интеллекта высокого уровня Prolog.

В заключении, представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

В процессе выполнения работы получены следующие основные результаты.

1. Предложена методология управления безопасностью полета ВС, в основу которой положены средства искусственного интеллекта, действия которых направлены на оценку и парирование угрозы авиационного происшествия.

2. Сформирован критерий безопасности полета воздушного судна, учитывающий влияние внутренних и внешних воздействующих факторов, согласно которому полет является безаварийным, если оценка условий полета воздушного судна $Y(t) = [0.5; 1.0]$.

3. Предложена математическая модель парирования угрозы авиационного происшествия на основе уравнения Колмогорова-Чепмена, позволяющая вычислить сигнал управления безопасностью полета ВС для автоматического и ручного парирования угрозы авиационного происшествия.

4. Разработан метод оценки угрозы авиационного происшествия на основе информации о психофизическом состоянии экипажа, состояниях объекта управления и внешних воздействующих факторов, что позволяет выявить и оценить угрозу авиационного происшествия по совокупности воздействующих факторов на условия полета воздушного судна.

5. Разработан метод прогнозирования изменения переменных, влияющих на безопасность полета воздушного судна, с использованием средств нечеткой логики и оценки изменения случайных процессов. При этом

среднеквадратическое отклонение контролируемых переменных за время прогноза не превышает 3%.

6. Предложен способ выдачи рекомендаций по парированию угрозы авиационного происшествия, разработанный на основе системы поддержки принятия решений. Исследование набора правил поддержки принятия решений экипажа позволило определить, что индекс их полноты $ИП=1$ и индекс противоречивости $ИПР \leq 0,4$.

7. Разработана система управления безопасностью полета воздушного судна, которая реализует методы и алгоритмы повышения безопасности полета.

8. Разработаны алгоритмы функционирования системы управления безопасностью полета воздушного судна.

9. Проведены исследования взаимодействия системы управления безопасностью полета ВС с сопрягаемым оборудованием и определены вероятности отказа ее функций, что позволяет подтвердить заданные показатели ее надежности.

10. Предложена методика отработки системы управления безопасностью полета ВС на стенде полунатурного моделирования, что позволяет подтвердить работоспособность программно-алгоритмического обеспечения системы.

11. Полученные результаты являются основой методов повышения безопасности полета воздушного судна, которые могут быть применены при разработке современных способов и систем управления воздушным судном.

Совокупность методов, методик и алгоритмов, представленных в работе, направлена на повышение эффективного и безопасного управления воздушным судном в сложных условиях полета, в том числе при аварийных и катастрофических ситуациях, что обеспечивается оценкой внешних и внутренних воздействующих факторов на безопасность полета, прогнозированием условий полета воздушного судна и парированием угрозы авиационного происшествия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в диссертационной работе решена важная научно-техническая проблема повышения безопасности полета воздушного судна на основе методов оценки, прогнозирования и парирования угрозы авиационных происшествий с учетом изменения внешних и внутренних воздействующих факторов.

Полученные в процессе выполнения работы результаты могут быть использованы при проектировании и эксплуатации авиационной техники.

Перспективы дальнейшей разработки темы заключаются в совершенствовании комплекса методов управления безопасностью человеко-машинных систем с использованием искусственного интеллекта и его практической реализации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Кулик, А.А. Исследование взаимодействия комплексной системы управления с устройствами и системами бортового радиоэлектронного оборудования летательного аппарата / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 1. – С. 7–16.

2. Кулик, А.А. Разработка системы управления безопасностью полета вертолета / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2016. – Т. 17. – № 10. – С. 708–715.

3. Кулик, А.А. Разработка алгоритмов функционирования системы управления безопасностью полета летательного аппарата вертолетного типа / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18. – № 1(2). – С. 358–362.

4. Кулик, А.А. Алгоритм реконфигурации архитектуры комплексной системы управления летательных аппаратов / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Системы управления и информационные технологии. – 2018. – № 4(74). – С. 44–48.

5. Кулик, А.А. Интеллектуальный метод оценки угрозы авиационного происшествия / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль //

Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2018. – № 5(167). – С. 3–9.

6. Кулик, А.А. Метод прогнозирования авиационного происшествия летательного аппарата / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Мехатроника, автоматизация и управление. – 2018. – Т. 19. – № 6. – С. 416–423.

7. Кулик, А.А. Исследование резервного контура электродистанционной системы управления летательного аппарата вертолетного типа / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2018. – № 65. – С. 143–149.

8. Кулик, А.А. Исследование комплексной системы управления летательного аппарата вертолетного типа при отказах бортового оборудования / А.А. Большаков, А.А. Кулик // Мехатроника автоматизация управление. – 2019. – Т. 20. – № 9. – С. 568–575.

9. Кулик, А.А. Исследование взаимодействия системы управления безопасностью полета с комплексом бортового оборудования воздушного судна / А.А. Кулик // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 4. – С. 28–36.

10. Кулик, А.А. Разработка методики испытания системы управления безопасностью полета воздушного судна / А.А. Кулик // Вестник СамГТУ. Серия: Технические науки. – 2019. – № 4(64). С. 30–41.

11. Kulik, A.A. Development of a method for computation of aircraft safety control signal / A.A. Kulik // Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. – 2020. – Vol. 21 – No 11. – P. 656–662.

12. Кулик, А.А. Методологические подходы к разработке интеллектуальной авиационной системы управления безопасностью полетов / А.А. Большаков, А.А. Кулик // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2021. – № 3. – С. 41–48.

13. Kulik, A. Artificial Intelligence – Based Aircraft Accident Threat Parrying Method / A. Kulik // Proceeding of Telecommunication Universities. – 2021. – Vol. 7. – No 4. – P. 110-117.

14. Kulik, A.A. Development of an algorithm for predicting an emergency situation on board an aircraft / A.A. Kulik // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2021. – №4 (56). – С. 9–17.

Свидетельства о результатах интеллектуальной деятельности

15. Кулик, А.А. Программа для предотвращения угрозы авиационного происшествия воздушного судна / А.А. Большаков, А.А. Кулик; Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU №2020662048 от 07.10.2020.

16. Кулик, А.А. Бортовая система управления безопасностью полета / А.А. Большаков, А.А. Кулик // Патент на полезную модель. RU (19) 203679 (13) МПК В64D 45/00 (2006.01) СПК В64D 45/00 (2021.02). Заявка № 2020140070/11(074535), 04.12.2020. Опубликовано: 15.04.2021 Бюл. № 11.

Публикации изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus

17. Kulik, A.A. Increasing the safety of flights with the use of mathematical model based on status functions / A.A. Bolshakov, I.V. Veshneva, A.A. Kulik // Studies in Systems, Decision and Control. – 2019 – Vol. 199. – P. 608–621.

18. Kulik, A.A. Decision Support Algorithm for Parrying the Threat of an Accident / A.A. Bolshakov, A.A. Kulik, I.V. Sergushov, E.N. Scripal // Studies in systems, decision and control. – 2020. – Vol. 260 – P. 237–247

19. Kulik, A.A. Aircraft Flight Safety Methodology / A.A. Kulik // Studies in Systems, Decision and Control. Cyber-Physical Systems: Modelling and Intelligent Control. – 2021. – Vol. 338. – P. 283–293.

20. Kulik, A.A. Algorithm of a device designed to support decision making to counter the threat of an aviation accident / A.A. Bolshakov, A.A. Kulik // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering. – 2021. – № 3 (136). – P. 46 – 59.

Монографии

21. Кулик, А.А. Пилотажные комплексы и навигационные системы вертолетов / А.Н. Попов, И.В. Сергушов, Д.П. Тетерин и др.; под ред. М.Ш. Ковадлина. – М.: Инновационное машиностроение, 2017. – 368 с.

Публикации в других изданиях и конференциях

22. Кулик, А.А. Математическое моделирование резервного контура управления летательным аппаратом вертолетного типа / А.А. Большаков, В.П. Глазков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов // Сборник трудов международной

конференции «Математические методы в технике и технологиях». – 2016. – № 10(92). – С. 130–135.

23. Кулик, А.А. Перспективы развития отечественных систем управления летательными аппаратами вертолетного типа / А.А. Кулик // Сборник трудов международной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – 2016. – № 11(93). – С. 138–146.

24. Кулик, А.А. Повышение управляемости вертолета с помощью комплексных систем управления / А.А. Кулик, И.В. Сергушов, А.К. Саморуков, А.А. Орлов // Сборник трудов конференции «Проблемы управления, обработки и передачи информации». – 2017 – С. 103–106.

25. Кулик, А.А. Метод оценки угрозы авиационного происшествия на базе искусственного интеллекта / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Сборник трудов всероссийской мультikonференции по проблемам управления – МКПУ. – 2017. – Т. 1 – С. 36–38.

26. Кулик, А.А. Метод распознавания угрозы авиационного происшествия на базе искусственного интеллекта / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Сборник трудов международной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – 2017. – Т. 4. – С. 90–95.

27. Кулик, А.А. Исследование функционирования систем управления беспилотными летательными аппаратами при их полете в составе группы / А.А. Большаков, А.А. Кулик, Е.Н. Скрипаль // Сборник трудов конференции «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики». – 2017. – С. 1569–1573.

28. Кулик, А.А. Применение алгоритма интерпретации данных на основе метода статусных функций для повышения безопасности полетов / А.А. Большаков, И.В. Вешнева, А.А. Кулик, И.В. Сергушов // Сборник трудов международной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – 2017. – Т. 4. – С.86–89.

29. Кулик, А.А. Повышение безопасности полета летательных аппаратов на основе метода прогнозирования авиационного происшествия / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Сборник трудов международной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – 2018. – Т. 2. – С. 52–55.

30. Кулик, А.А. Разработка математической модели информационного взаимодействия беспилотных летательных аппаратов / А.А. Большаков,

А.А. Кулик // Сборник трудов международной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – 2018. – Т. 5. – С. 61–66.

31. Кулик, А.А. Алгоритм поддержки принятия решений по парированию угрозы авиационного происшествия / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Сборник трудов международной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – 2019. – Том 1. – С. 58–63.

32. Кулик А.А. Методология управления безопасностью полета воздушного судна / А.А. Кулик // Сборник трудов международной конференции «Математические методы в технике и технологиях». – 2020. – Том 10. – С. 24–27.