

Кулик Алексей Анатольевич

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТА
ВОЗДУШНОГО СУДНА НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И
ПАРИРОВАНИЯ УГРОЗЫ АВИАЦИОННЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук



Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана).

Научный консультант: **Большаков Александр Афанасьевич**
доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Высшая школа искусственного
интеллекта, профессор

Официальные оппоненты **Федунов Борис Евгеньевич**
доктор технических наук, профессор
ФАУ «ГосНИИАС», отделение 0200
начальник сектора
Филимонюк Леонид Юрьевич
доктор технических наук
Институт проблем управления им. В.А.
Трапезникова РАН, лаборатория 27
ведущий научный сотрудник
Катасёв Алексей Сергеевич
доктор технических наук, профессор
Казанский национальный исследовательский
технический университет имени А.Н. Туполева –
КАИ, кафедра «Системы информационной
безопасности», профессор кафедры

Ведущая организация **ФГБУН ФИЦ «Саратовский научный центр РАН»,**
г. Саратов

Защита состоится «14» ноября 2023 года в 14.30 на заседании диссертационного совета 24.2.331.14 при МГТУ имени Н.Э. Баумана, по адресу: 105005, г. Москва, Госпитальный переулок, д. 10, факультет «Специальное машиностроение» МГТУ имени Н.Э. Баумана, ауд. 613м.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте <http://www.bmstu.ru>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просьба направлять по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, МГТУ им. Н. Э. Баумана, ученому секретарю диссертационного совета 24.2.331.14

Автореферат разослан «__» _____ 2023 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.331.14

Муратов Игорь Валентинович

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 73% авиационных происшествий приходится на человеческий фактор, 25% – 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, Л.Ю. Филимонюк разработаны методы системного анализа безопасности авиационных транспортных систем в условиях критического сочетания событий. Работы Н.Н. Макарова, В.М. Солдаткина, I. Moir, A. Seabridge 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.

Разработана автоматизированная высокоинтеллектуальная система обеспечения полета летательного аппарата Л.М. Берестовым, Е.Г. Хариным, 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 т.ч. на психофизическое состояние экипажа.

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, J.J. Rene, R. Kosko, E. Furems, D. Ruan.

Работы по совершенствованию методов и средств искусственного интеллекта проводятся в Высшей школе искусственного интеллекта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, в котором

выполнена базовая часть представленной диссертации и проведена обработка экспериментальных данных с использованием современных высокопроизводительных вычислительных систем.

Поэтому создание методов оценки, прогнозирования и парирования угрозы авиационного происшествия на основе непосредственного контроля изменения значений переменных, влияющих на безопасность полета, с применением интеллектуальных технологий, позволит успешно решать **актуальную проблему**, связанную с необходимостью повышения степени безопасности полетов, в первую очередь, с учетом человеческого фактора.

Настоящая диссертационная работа посвящена построению концепции управления безопасностью полета воздушного судна, включающей методы и алгоритмы по оцениванию и прогнозирования угрозы наступления авиационного происшествия (АП) с использованием алгоритмов нечеткой логики, а также способы парирования ее на базе 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 обеспечение безопасности полета воздушного судна на основе разработки бортовой системы с интеллектуальными компонентами, ее алгоритмического обеспечения и методологии обеспечения безопасности полетов, что позволит повысить степень безопасности управления судном в сложных условиях полета.

Количественным критерием степени достижения цели является оценка угрозы авиационного происшествия.

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

- 1) выполнить анализ систем и способов обеспечения безопасности полета ВС, на основе которого формируются основные направления исследования;
- 2) предложить авиационной системе с интеллектуальными компонентами, сформулировать принципы ее функционирования и методы их реализации;
- 3) разработать критерий и модель оценки степени угрозы АП;
- 4) разработать методы оценки и прогноза угрозы АП;
- 5) разработать метод парирования угрозы АП с применением интеллектуальной системы поддержки принятия решений;
- 6) предложить архитектуру и алгоритмы функционирования системы управления безопасностью полета воздушного судна;
- 7) разработать методику испытаний системы управления безопасностью полета воздушного судна;
- 8) выполнить имитационное моделирование предложенных методов и алгоритмов для подтверждения их работоспособности.

Научная новизна

1. Предложена новая организационно-техническая авиационная система с интеллектуальными компонентами, отличающаяся от известной авиационной транспортной системы наличием в ее структуре интеллектуальных компонент в

виде нечетко-логических средств оценки угрозы авиационного происшествия и устройства поддержки принятия решений по ее нейтрализации. Принцип действия авиационной системы с интеллектуальными компонентами направлен на обеспечение безопасности полета воздушного судна его бортовыми системами и комплексами с учетом изменения совокупности переменных, влияющих на угрозу авиационного происшествия (п.п. 9).

2. Предложена архитектура и алгоритмы функционирования бортовой 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 нечеткой логики и устройств поддержки принятия решений. 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.п. 9).

3. Предложены критерий и модель оценки условий полета воздушного судна, которые заключаются в определении влияния на безопасность полета совокупности внешних и внутренних воздействующих факторов. 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 представленных в форме нечеткого множества (п.п. 3).

4. 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.п. 4).

5. 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.п. 11).

6. Предложена математическая модель парирования угрозы авиационного происшествия, предназначенная для использования при решении задачи обеспечения безопасности 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 предотвращение угрозы авиационного происшествия, предложенная модель содержит переменные оценки угрозы авиационного происшествия и ее парирования в виде нечеткой функции принадлежности, а также разделение управляющего воздействия парирования угрозы происшествия на действия экипажа и системы управления ВС (п.п. 3).

7. 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.п. 10).

8. 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.п. 11).

Научная и практическая ценность диссертационной работы заключается в разработке методологии обеспечения безопасности полета воздушного судна на основе методов оценки, прогнозирования и парирования угроз авиационных происшествий под влиянием изменения технического состояния объекта управления, внешних воздействующих факторов и психофизического состояния экипажа на различных этапах полета. Предложенная методология реализует принципы функционирования авиационной системы с интеллектуальными компонентами, представленные в виде аппарата нечеткой логики и систем поддержки принятия решений.

К основным практически значимым результатам относятся:

1. Повышение качества и эффективности функционирования воздушного судна, что достигается применением на его борту системы управления безопасностью полета, позволяющей оценить и спрогнозировать угрозу

авиационного происшествия, а также выдать управленческие решения по ее парированию экипажу или в системы управления воздушным судном.

2. Повышение степени оценки угрозы авиационного происшествия в аварийных условиях полета воздушного судна на 25%, что достигается измерением совокупности переменных, характеризующих техническое состояние объекта управления, внешние воздействующие факторы и психофизическое состояние экипажа.

3. Обеспечение ситуационной осведомленности экипажа, что достигается выдачей в средства бортового оповещения экипажа информации о степени угрозы авиационного происшествия, ее источнике и способах парирования.

4. Снижение ложного формирования оценки угрозы авиационного происшествия системой управления безопасностью полета, что достигается встроенными средствами контроля входной, вычисленной и выходной информации системы, а также проверкой ее работоспособности в штатных условиях работы и отказах сопрягаемого оборудования.

5. Применение разработанных методов, критериев, моделей и алгоритмов распознавания и парирования угрозы авиационного происшествия в бортовых комплексах гражданских судов и бесплотных летательных аппаратах, позволило определить влияние отказов бортового оборудования на безопасность полета воздушного судна с учетом изменения показателей психофизического состояния экипажа.

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»; АО «ИТТ»; 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 Петра Великого, кафедры «Системы автоматического управления» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана.

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. Структура авиационной системы с интеллектуальными компонентами, предложенный принцип действия которой позволяет обеспечить безопасность полета воздушного судна его бортовыми системами и комплексами.

2. Методология обеспечения безопасности полета представляет совокупность методов оценки, прогнозирования и парирования угрозы авиационного происшествия с учетом изменения переменных безопасности полета воздушного судна.

3. Архитектура и алгоритмы функционирования системы управления безопасностью полета ВС позволяют идентифицировать угрозу АП и сформировать управленческие решения по ее парированию.

4. Критерий и модель оценки безопасных условий полета воздушного судна позволяют определить влияние на безопасность полета ВС совокупности внутренних и внешних воздействующих факторов, представленных в виде нечетко-логических переменных.

5. Математическая модель парирования угрозы авиационного происшествия позволяет определить значение управляющего воздействия по парированию угрозы авиационного происшествия, реализуемое экипажем или системой управления ВС.

6. Метод оценки угрозы авиационного происшествия разработан на базе предложенной нечетко-логической модели и критерия оценки угрозы авиационного происшествия, что позволяет определить ее величину с учетом совокупности внутренних и внешних воздействующих факторов.

7. Метод прогнозирования угрозы авиационного происшествия заключается в прогнозе изменения значений переменных, влияющих на безопасность полета, позволяет определить степень угрозы АП на ранних стадиях ее проявления.

8. Метод поддержки принятия решений экипажем по парированию угрозы авиационного происшествия позволяет сформировать управленческие решения парирования угрозы АП на основе экспертной базы знаний.

9. Методика комплексных испытаний системы управления безопасностью полета ВС позволяет отработать программное и аппаратное обеспечения системы в штатных условиях их работы, а также при собственных отказах системы и отказах сопрягаемого оборудования.

Обоснованность и достоверность полученных в диссертационной работе результатов обеспечивается корректной постановкой проблемы и задач, применением при их решении методов разработки нечетко логических моделей и систем принятия решений, 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 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, 2018, 2019); «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:2019 – «Cyber-Physical Systems Design And Modelling» (Санкт-Петербург, 2019); «Кибер-физические системы: проектирование и моделирование» CYBERPHY:2020 – «Cyber-Physical Systems Design And Modelling» (Казань, 2020); «Математические методы в технике и технологиях» (Казань, 2020); «Кибер-физические системы: проектирование и моделирование» CYBERPHY:2022 – «Cyber-Physical Systems Design And Modelling» (Ярославль, 2022); на X Всероссийской мультikonференция по проблемам управления – МКПУ-2017 (Дивноморское, 2017);, а также на научно-техническом совете АО «Конструкторское бюро промышленной автоматики», семинарах ФАУ «ГосНИИАС», ФГБУН ФИЦ «Саратовский научный центр РАН».

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 34 печатные работы, из них 17 статей – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (уровень К1 – 12 статей, уровень К2 – 3 статьи, уровень К3 – 2 статьи), 3 статьи – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования; 1 монография и 11 – в других изданиях и материалах конференций, 2 публикации – свидетельства Роспатента РФ на объекты интеллектуальной собственности.

Соответствие паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует п. 3, 4, 9, 10, 11 паспорта специальности 2.3.1 - Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

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 [4, 17], предложен метод поддержки принятия экипажу по парированию угроз авиационного происшествия с учетом моделирования прогноза ее развития [13, 20, 16, 17], 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 229 наименований, приложения. Работа изложена на 287 страницах, содержит 51 рисунка, 17 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 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, что в н/в 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 ВС под влиянием внутренних и внешних воздействующих факторов в сложных условиях полета; а также формированию основных задач исследования, направленных на создание методов повышения безопасности полета ВС.

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

Предложенная система содержит следующие подсистемы:

- **система «экипаж – ВС»** – основное звено АС, которое обеспечивает использование ВС по назначению. Экипаж 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 АС 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 устройств контроля и управления, функционирование которого связано с обнаружением и устранением АП под воздействием внутренних и внешних факторов на земле и в воздухе.

На рисунке 1: ВВФ – внешние воздействующие факторы, ППР – поддержка принятия решений, УВД – управление воздушным движением.

На основе свойств авиационно-транспортных систем и интеллектуальных систем сформулированы принципы функционирования авиационной системы с интеллектуальными компонентами:

1. **Интеллектуальность АС** 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 управляющие воздействия по отношению к воздушному судну. Под интеллектуальностью АИС 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 АС 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:

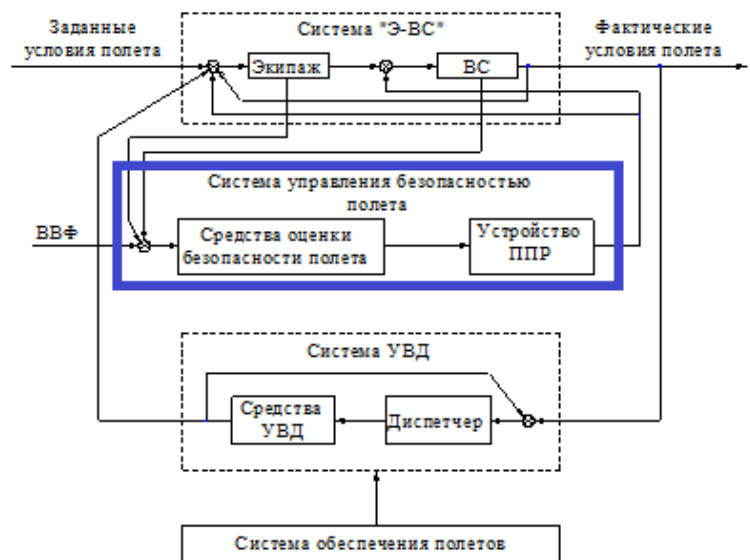


Рис. 1. Структурная схема авиационной системы

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

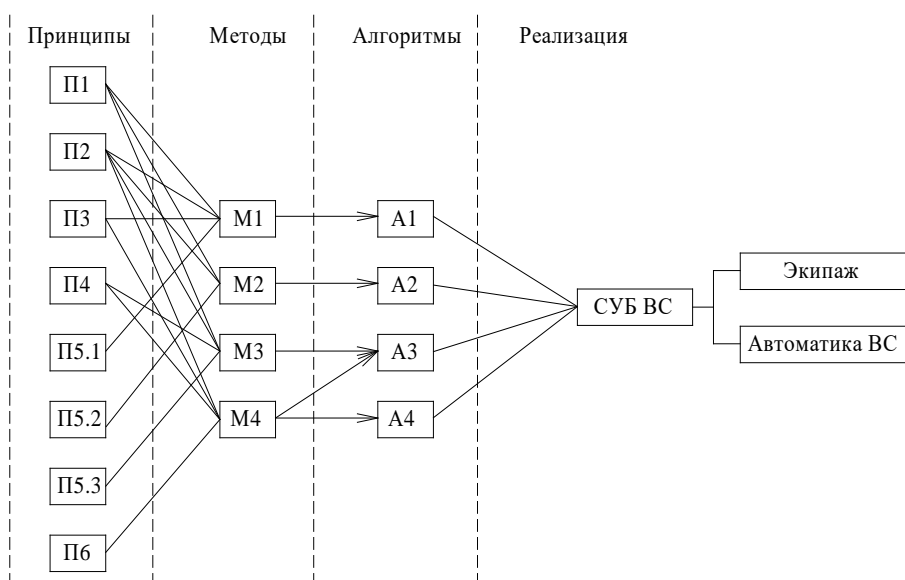
- **прогнозирование угрозы авиационного происшествия** предусматривает прогнозирование изменений переменных внешних и внутренних факторов, влияющих на условия полета ВС и, как следствие, на безопасность процесса;

- **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 обеспечения безопасности функционирования авиационной системы с интеллектуальными компонентами, представлена на рисунке 2. Структурная схема представляет взаимосвязь принципов, методов и алгоритмов, направленных на повышение безопасности полета воздушного судна.

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 АС (П4). Метод формирования сигнала парирования угрозы АП (М4) базируется на принципах информативности (П2), быстродействия (П3), взаимосвязи подсистем (П4) и управляемости системы (П6).

Здесь П1-П6 – принципы

Рис. 2. Методология обеспечения безопасности полета ВС функционирования авиационной системы, М1-М4 – методы управления безопасностью полета ВС, А1-А4 – алгоритмы управления безопасностью полета ВС, СУБ ВС – бортовая система управления безопасностью полета ВС.

Предложенные методы реализуются программным и аппаратным обеспечением бортовой системы управления безопасностью полета воздушного судна. Согласно рисунку 2 методология управления безопасностью АИС содержит следующие алгоритмы: оценка угрозы происшествия и условий полета ВС (A1), прогнозирование угрозы происшествия (A2), предотвращение угрозы происшествия (A3), реконфигурация систем управления ВС (A4).

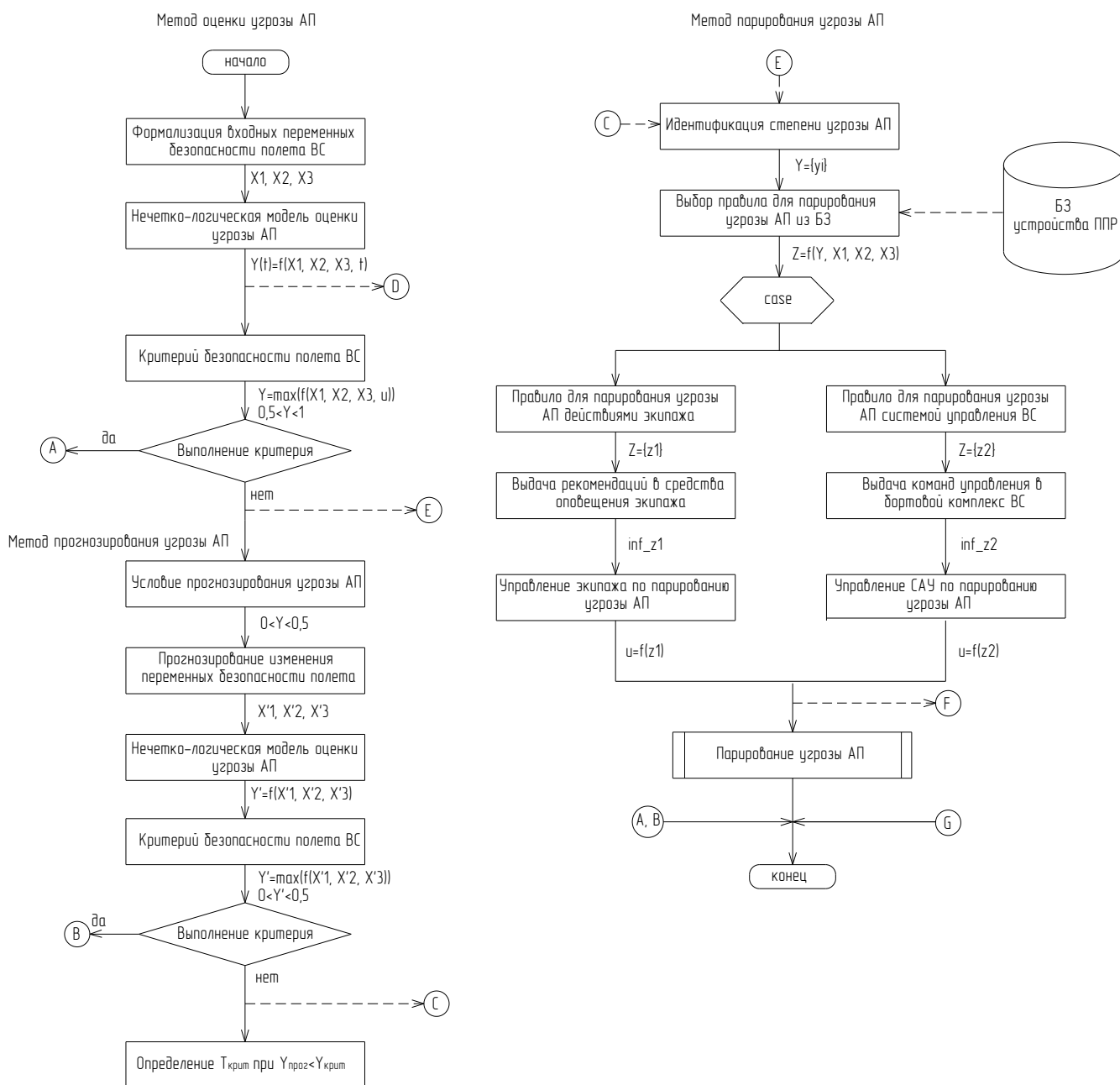


Рис. 3а. Блок-схема алгоритмической реализации методов управления безопасностью полета ВС

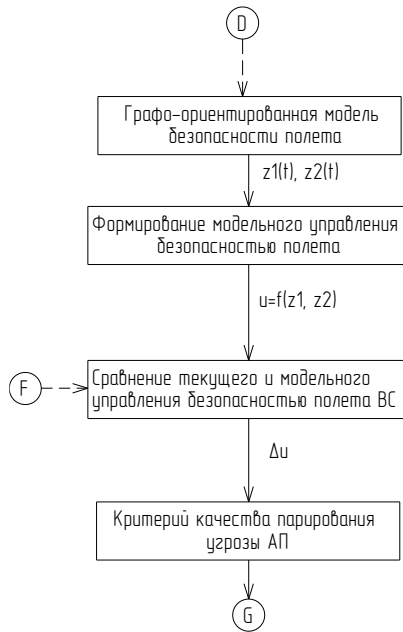


Рис. 3б. Продолжение блок-схемы алгоритмической реализации методов управления безопасностью полета ВС

Здесь X_1, X_2, X_3 – текущие значения входных переменных оценки безопасности полета воздушного судна, $Y(t)$ – текущее значение оценки безопасности полета ВС, X^1, X^2, X^3 – прогнозируемые значения входных переменных оценки безопасности полета воздушного судна, $Y^*(t)$ – прогнозируемое значение оценки безопасности полета ВС, Z – переменная, характеризующая способ парирования угрозы авиационного происшествия, $z_1(t)$ – выходная переменная правила парирования угрозы авиационного происшествия действиями экипажа ВС, $z_2(t)$ – выходная переменная правила парирования угрозы авиационного происшествия системами управления ВС, inf_z1, inf_z2 – переменные, характеризующие выдачу информации о парировании угрозы авиационного происшествия в средства оповещения экипажа и бортовой комплекс ВС, $u(t)$ – переменная, характеризующая управление безопасностью полета ВС, Δu – переменная, характеризующая отклонение текущего и модельного управления безопасностью полета.

Алгоритмическое обеспечение бортовой системы безопасности полета воздушного судна (рисунок 3а) содержит этапы, направленные на идентификацию текущей и прогнозируемой угрозы АП в зависимости от значений переменных, характеризующих техническое состояние объекта управления, психофизическое состояние экипажа и внешние воздействующие факторы, алгоритм парирования угрозы АП, а также алгоритм отработки (рисунок 3б).

Таким образом, представленная в работе концепция построения 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 нейтрализации на основе применения интеллектуальных технологий с учетом изменения переменных, характеризующих психофизическое состояние экипажа, технического состояния объекта управления и внешних воздействующих факторов.

Значения оценки условий полета воздушного судна в зависимости от угрозы АП принимают могут быть представлены на числовой шкале (рисунок 4).

Необходимым условием безопасности полета воздушного судна является высокое психофизическое состояние экипажа, техническая исправность судна и его бортового оборудования, хорошие погодные условия, тогда целевая функция примет следующий вид:

$$F_1[X_1(t), X_2(t), X_3(t), u(t), t] \rightarrow \max. \quad (2)$$

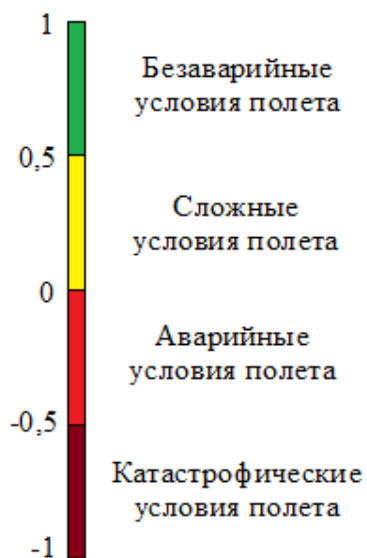


Рис. 4. Шкала оценки условий полета

Начальные условия:

$$F_0[X_1(t), X_2(t), X_3(t), u(t), t] = Y_0(t). \quad (3)$$

О

граничения целевой функции имеют следующий вид:

$$A \leq F_i[X_1(t_n), X_2(t_n), X_3(t_n), u(t_n), t_n] \leq B, \quad (4)$$

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, обеспечение безопасности полета воздушного судна должно осуществляться выполнением 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.

Учитывая, что задача обеспечения безопасности полета воздушного судна решается в рамках создания системы управления безопасностью полета судна, тогда примем два способа парирования угрозы авиационного происшествия:

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

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

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

$$z_i(t) = f(g_{1i}, g_{2i}) = \langle Y(t); X_1(t); X_2(t); X_3(t) \rangle, \quad i = 1 \dots n, \quad (5)$$

где G – множество парирования угрозы авиационного происшествия; g_1, g_2 – подмножества ручного и автоматического парирования угрозы авиационного происшествия, соответственно; g_{1i}, g_{2i} – элементы подмножества ручного и автоматического парирования угрозы авиационного происшествия.

Решение задачи управления безопасностью полета воздушного судна заключается в определении значений переменной $z_i(t) \in G$ в соответствии с выражением (6) и обеспечивающей выполнение условия $Y(t) \rightarrow \max$. Задача может решаться при следующих начальных и граничных условиях:

$$u(0) = z_0 = 0; \quad 0 < u(t) \leq 1. \quad (6)$$

Вычисление переменных, характеризующих парирование угрозы авиационного происшествия, может быть осуществлено на основе графа изменения безопасности полета ВС, представленный на рисунке 5.

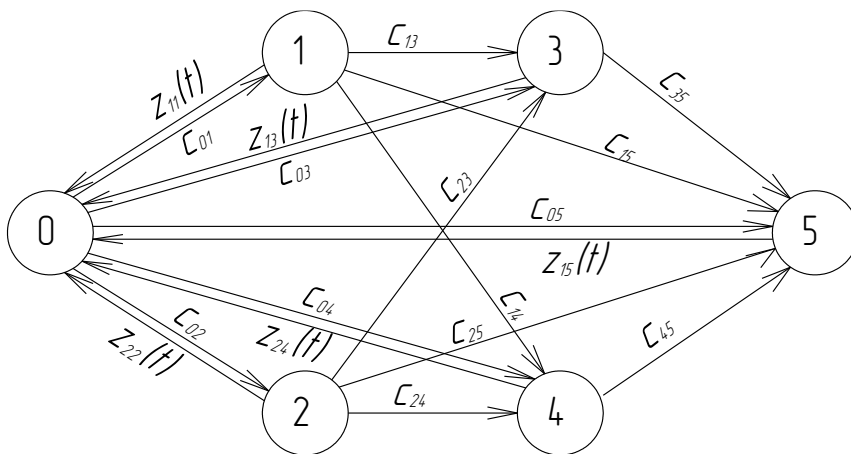


Рис. 5. Граф состояния безопасности полета ВС

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; $z_{11}(t)$, $z_{13}(t)$, $z_{15}(t)$ – предотвращение угрозы авиационного происшествия действиями экипажа в сложных, аварийных и катастрофических условиях полета ВС, соответственно; $z_{22}(t)$, $z_{24}(t)$ – предотвращение угрозы авиационного системой автоматического управления воздушного судна в сложных и аварийных условиях полета ВС, соответственно; c_{ij} – показатель перехода условий полета ВС из текущего состояния i в последующее состояние j .

Из рисунка видно, что состояния безопасности полета воздушного судна взаимосвязаны непосредственным переходом одного состояния в другое, а также переходом через промежуточное состояние. Например, аварийные условия полета ВС (3) могут наступить из без аварийных (0) и в результате ухудшения сложных условий полета (1 и 2). При этом сигнал парирования угрозы АП должен обеспечивать переход текущего условия полета в безаварийный режим полета ВС.

На основе графа состояния безопасности полета ВС, получена система уравнений скорости изменения оценки безопасности полета в ее различных состояниях (**система уравнений оценки безопасности полета**):

$$\begin{aligned}
 \frac{dY_0(t)}{dt} &= z_{11}(t)Y_1(t) + z_{13}(t)Y_3(t) + z_{15}(t)Y_5(t) + z_{24}(t)Y_4(t) + \\
 &+ z_{22}(t)Y_2(t) - (c_{01} + c_{02} + c_{05} + c_{03} + c_{04})Y_0(t); \\
 \frac{dY_1(t)}{dt} &= c_{01}Y_0(t) - (c_{13} + c_{14} + c_{15})Y_1(t) - z_{11}(t)Y_1(t); \\
 \frac{dY_2(t)}{dt} &= c_{02}Y_0(t) - (c_{23} + c_{24} + c_{25})Y_2(t) - z_{22}(t)Y_2(t); \\
 \frac{dY_3(t)}{dt} &= c_{03}Y_0(t) + c_{13}Y_1(t) + c_{23}Y_2(t) - c_{35}Y_3(t) - z_{13}(t)Y_3(t); \\
 \frac{dY_4(t)}{dt} &= c_{04}Y_0(t) + c_{14}Y_1(t) + c_{24}Y_2(t) - c_{45}Y_4(t) - z_{24}(t)Y_4(t); \\
 \frac{dY_5(t)}{dt} &= c_{05}Y_0(t) + c_{15}Y_1(t) + c_{25}Y_2(t) + c_{35}Y_3(t) + c_{45}Y_4(t) - \\
 &- z_{15}(t)Y_5(t),
 \end{aligned} \tag{7}$$

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, c_{ij} – коэффициент изменения безопасности полета ВС, $z_{ij}(t)$ – переменная парирования угрозы авиационного происшествия.

В настоящее время при разработке авиационных систем широкое применение получили графо-ориентированные методы описания технических процессов. При этом эти методы способствуют совершенствованию способов оценки и прогнозирования угрозы авиационного происшествия в условиях критических сочетаний событий.

Предложенная система уравнений (7) позволяет определить зависимость изменения оценки безопасности полета ВС от значений показателей угрозы авиационного происшествия и ее парирования за время полета воздушного судна. Однако графо-ориентированные методы могут быть использованы только для оценки работоспособности бортовой системы управления безопасностью полета на этапе ее стендовой отработки, что обусловлено обобщенностью изменения выходной переменной модели графа, а также отсутствием в ее структуре физически измеряемых переменных. Поэтому для математического описания разработанной авиационной системы в части безопасности полета ВС использованы нелинейные уравнения системы управления в форме Коши с учетом нечетких функций принадлежности ее переменных и SDC-представления.

Учитывая, что парирование угрозы авиационного происшествия реализуется цифровыми системами автоматического управления, тогда модель безопасности полета ВС может быть записана в виде:

$$\begin{aligned} Y_n(n+1) &= AY_n(n) + BU_n(n) + \omega(n), \\ X_n(n) &= HY_n(n) + v(n) \\ Y_n(0) &= Y_{0n}, \\ Y_n &= [-1: 1], \\ U_n &\in G, n \in N, \end{aligned} \tag{8}$$

где $Y_n = (y_{1n}, y_{2n}, y_{3n}, y_{4n})^T$ – нечеткий вектор состояния безопасности полета ВС, $U_n = (u_{1n}, u_{2n})^T$ – нечеткий вектор управления безопасностью полета ВС, $X_n = (x_{1n}, x_{2n}, x_{3n}, x_{4n})^T$ – нечеткий вектор измерения переменных безопасности полета ВС, A – матрица согласования нечетких переменных оценки безопасности полета с заданной функцией принадлежности, B – матрица согласования нечетких переменных управления безопасностью полета с заданной функцией принадлежности, H – матрица наблюдения переменных влияющих на безопасность полета ВС, ω – внешние воздействия влияющие на систему управления безопасностью полета, $v(n)$ – шум измерения, N – множество состояний изменения контролируемых переменных.

Так как изменение переменной Y_n для безаварийных условий полета и представление переменных управления безопасностью полета, реализуемыми бортовыми системами ВС, принимают вид S-образных функций, то выражение (8) может иметь следующую форму записи:

$$Y_H(n+1) = \begin{bmatrix} \frac{\mu_Y b_Y + a_Y}{1 + \mu_Y} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{41}(n) \\ y_{42}(n) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\mu_U b_U + a_U}{1 + \mu_U} \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{21}(n) \\ u_{22}(n) \end{bmatrix} + \omega(n), \quad (9)$$

$$X_H(n) = [h_1 \quad h_2] \begin{bmatrix} y_{41}(n) \\ y_{42}(n) \end{bmatrix} + v(n),$$

где μ_Y, μ_U – значения области принадлежности оценки и управления безопасности полета, соответственно, a_Y, a_U, b_Y, b_U – граничные значения нечеткой функции, y_{41}, y_{42} – переменные, характеризующие безаварийные условия полета ВС, h_1, h_2 – коэффициенты матрицы наблюдаемости.

Матрица A – диагональная с различными диагональными элементами, матрица B не содержит нулевых строк, и матрица C не содержит нулевых столбцов, поэтому рассматриваемая система является управляемой и наблюдаемой.

Функционал качества процесса управления может быть записан в виде:

$$J(Y_H, U_H) = \frac{1}{2} \sum_{n \in N} \{Y_H^T Q Y_H + U_H^T R U_H\} \quad (10)$$

где Q, R – положительно определенные матрицы.

Процесс гарантированного управления безопасностью полета воздушного судна должен обеспечивать выполнение условия:

$$0,5 < Y_H(n) \leq 1. \quad (11)$$

Воздействие $U_H(n)$ направлено на построение управляющего процесса $\zeta = (Y_H(n), U_H(n))$, выполняющего условие (11).

В процессе решения системы уравнений (10) с использованием функционала качества (11) управление безопасностью полета ВС имеет следующий общий вид:

$$U_H(n) = -R^{-1} B^T S Y_H(n), \quad (12)$$

где S – матрица решения уравнения Риккати.

Таким образом, выражение (12) позволяет определить изменение закона управления и парирования угрозы авиационного происшествия в зависимости от изменений текущих условий безопасности полета воздушного судна, которые используются в процессе создания систем управления безопасностью полета воздушного судна при формировании управляющего сигнала.

В третьей главе представлена бортовая система управления безопасностью полета воздушного судна, принцип действия которой направлен на обнаружение, прогнозирование и нейтрализацию угрозы авиационного происшествия. Структурная схема бортовой системы управления безопасностью полета представлена на рисунке 6.

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.

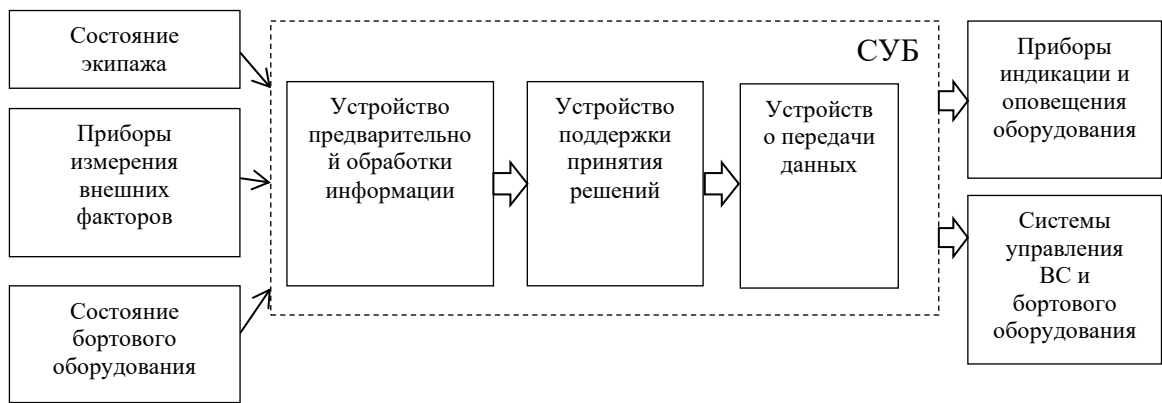


Рис. 6. Структурная схема системы управления безопасностью полета ВС

Необходимо отметить, что бортовая система управления безопасностью полета относится к критическим системам воздушного судна, что, в свою очередь, обуславливает высокие требования к достоверности оценки угрозы АП.

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

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.

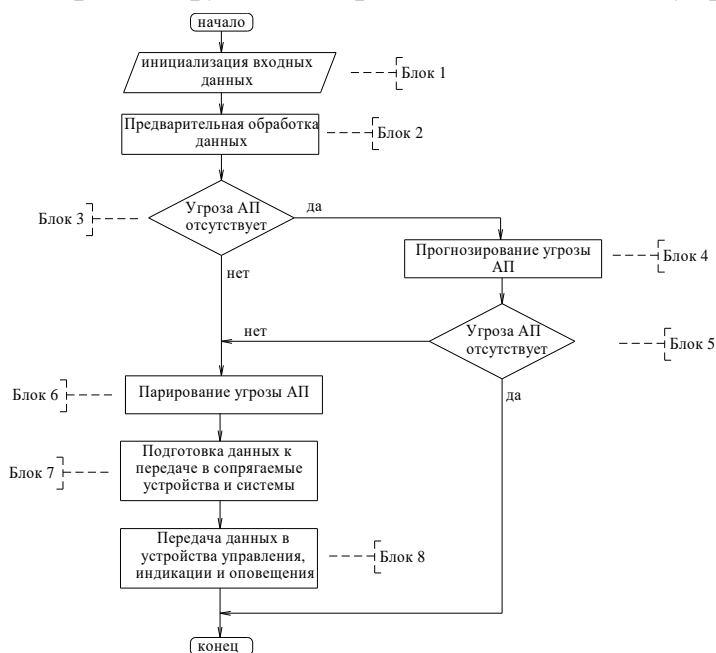


Рис.7. Блок-схема функционирования СУБ

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.

Предложенная блок-схема алгоритма функционирования системы управления безопасностью полета имеет вид, представленный на рисунке 7.

Согласно представленной схеме, бортовая 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 4. Выполняется прогноз 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 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.

В четвертой 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.

Таблица 1.

Перечень переменных, влияющих на безопасность полета ВС

№	Группа	Переменная	Способ измерения	Лингвистические значения переменной
1	Психофизическое состояние пилота	Усталость	Датчик реакции зрачка, Тензодатчик, Блок контроля состояния летчика	низкая f_1 , средняя f_2 , высокая f_3
		Внимание	Датчику реакции зрачка, Тензодатчик Блок контроля состояния летчика	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	Датчику реакции зрачка, Тензодатчик Блок контроля состояния летчика	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

№	Группа	Переменная	Способ измерения	Лингвистические значения переменной
2	Состояние воздушного судна	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	Бортовая метеостанция, ДИСС	слабый f_1 , средний f_2 , сильный f_3
		Боковой ветер	Бортовая метеостанция, ДИСС	слабый f_1 , средний f_2 , сильный f_3
		Видимость	Фотометр	хорошая k_2 , плохая k_1 ,

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.

Используя матрицу прецедентов, значения входных переменных бортовой СУБ полета ВС, выполнено 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 8.

Из рисунка 8а 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 8б).

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 оценку угрозы авиационного происшествия для рассматриваемых условий полета воздушного судна на 25 % и, как следствие, выработать более эффективные управленческие решения по ее парированию.

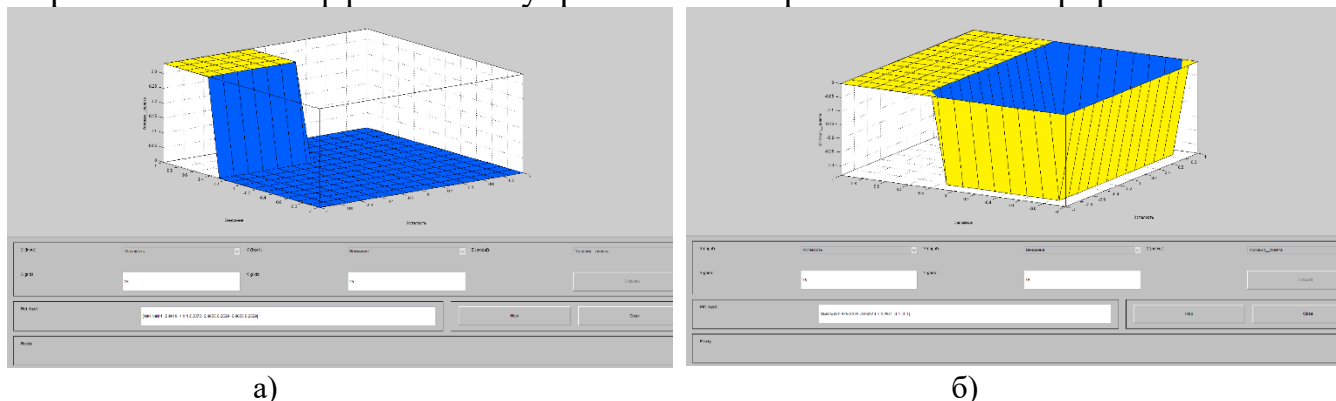


Рис. 8. Результаты моделирования условий полета ВС без учета и учетом психофизического состояния экипажа

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.

Пятая 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 определением момента времени, в который оценка угрозы АП принимает критические значения $Y'(t) = Y'_{\text{крит.}}(t)$. Преимуществом предложенного метода является повышение степени достоверности определения угрозы и последствий АП в процессе управления ВС, что достигается прогнозированием изменения разнородных переменных, влияющих на безопасность его полета.

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. Также в работе представлен алгоритм его реализации программными и аппаратными средствами системы управления безопасностью полета воздушного судна. На рисунке 9 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.

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

На рисунке 10 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 10а 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.;

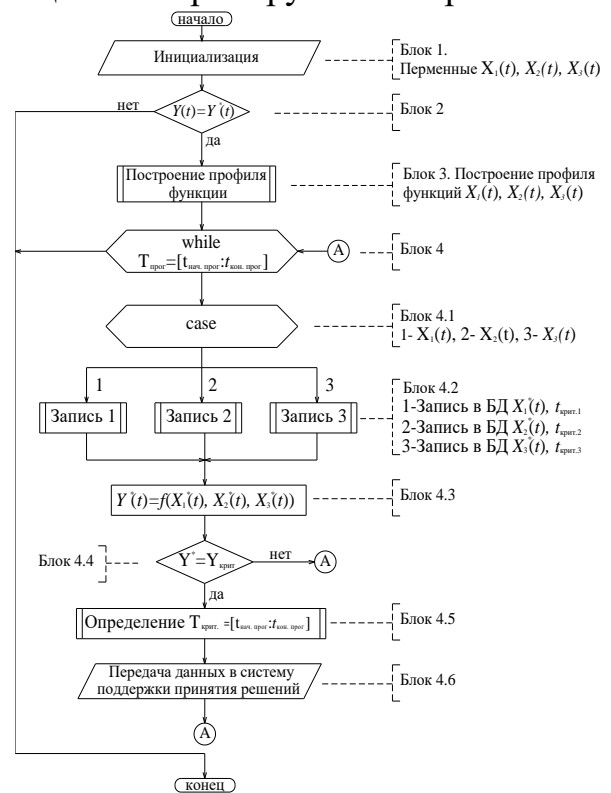
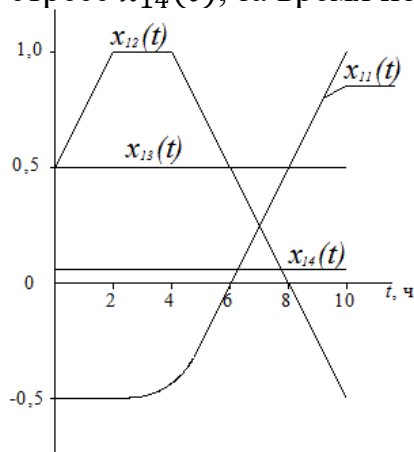
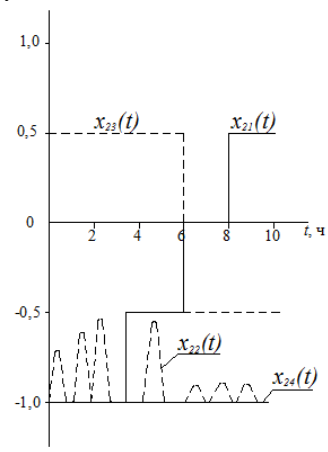


Рис.9. Блок-схема алгоритма прогнозирования авиационного происшествия

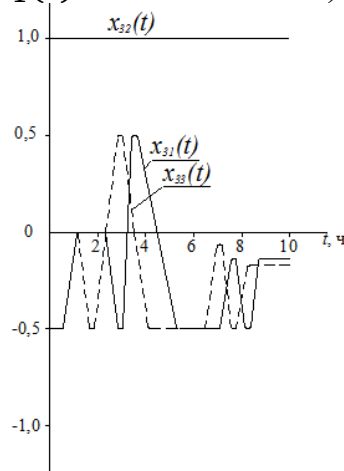
- уровень подготовки экипажа $x_{13}(t)$ у пилота остается неизменным;
- стресс $x_{14}(t)$, за время полета отсутствует.



а) Профиль функции $X_1(t)$



б) Профиль функции $X_2(t)$



в) Профиль функции $X_3(t)$

Рис. 10. Профили функций прогнозирования изменения условий полета ВС

Переменные, характеризующие состояния объекта управления $X_2(t)$, изменяются следующим образом (рисунок 10б):

- 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 10в), 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 **шестой 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 11. 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.

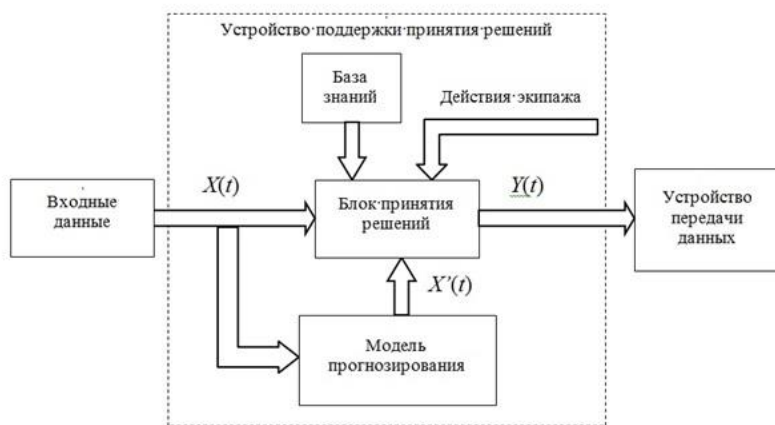


Рис. 11. Структурная схема устройство поддержки принятия решений

Здесь $X(t)$ – массив входных данных после предварительной обработки; $X'(t)$ – 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.

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 $Y = k_1$:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle 1 \rangle: \text{ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_1\} \quad (13)$$

$$\text{ТО } Z = \{g_1\},$$

где g_1 – угроза АП отсутствует, нейтрализация не требуется.

Условия полета сложные $Y = k_2$:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle 2.1 \rangle: \text{ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_3, k_3\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_2\} \quad (14)$$

$$\text{ТО } Z = \{g_2\},$$

$$\text{ПРАВИЛО } \langle 2.2 \rangle: \text{ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_3, k_4\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_2\} \quad (14)$$

$$\text{ТО } Z = \{g_2\},$$

$$\text{ПРАВИЛО } \langle 2.3 \rangle: \text{ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_2, k_2\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_2\} \quad (14)$$

$$\text{ТО } Z = \{g_2\},$$

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

Условия полета аварийные $Y = k_3$:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle 3.1 \rangle: \text{ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_1, k_3\} \text{ И } X_{2j} = \{f_3, k_4\} \text{ И } X_{3j} = \{f_2, k_1\} \quad (15)$$

$$\text{ТО } Z = \{g_3\},$$

$$\text{ПРАВИЛО } \langle 3.2 \rangle: \text{ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{2j} = \{f_2, k_4\} \text{ И } X_{3j} = \{f_3, k_1\} \quad (15)$$

$$\text{ТО } Z = \{g_3\},$$

$$\text{ПРАВИЛО } \langle 3.3 \rangle: \text{ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_3, k_4\} \text{ И } X_{2j} = \{f_2, k_3\} \text{ И } X_{3j} = \{f_1, k_1\} \quad (15)$$

$$\text{ТО } Z = \{g_4\},$$

$$\text{ПРАВИЛО } \langle 3.4 \rangle: \text{ЕСЛИ } X_{1j} = \{f_2, k_2\} \text{ И } X_{2j} = \{f_1, k_1\} \text{ И } X_{3j} = \{f_3, k_2\} \quad (15)$$

$$\text{ТО } Z = \{g_4\},$$

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 $Y = k_4$:

ПРАВИЛО <4.1>: ЕСЛИ $X_{1j} = \{f_2, k_3\}$ И $X_{2j} = \{f_3, k_4\}$ И $X_{3j} = \{f_2, k_1\}$ (16)

ТО $Z = \{g_5\}$,

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 $Z = \{g_5\}$,

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 12 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 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.

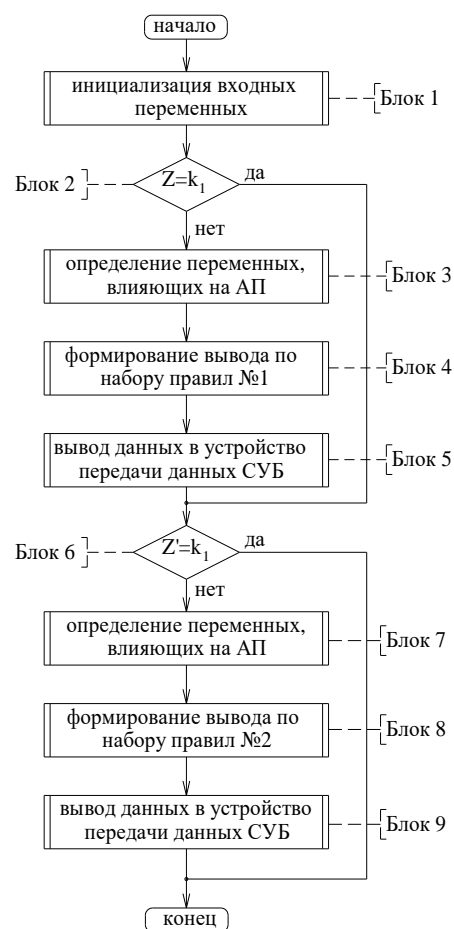


Рис. 12. Блок схема алгоритма поддержки принятия решений парирования угрозы авиационного происшествия

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.

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.

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 13.

Согласно представленной структурной схеме, система взаимодействует с комплексом бортового оборудования по цифровым линиям связи поддерживающих интерфейс ARINC 664 и CAN 2.0b. 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 для ARINC 664.

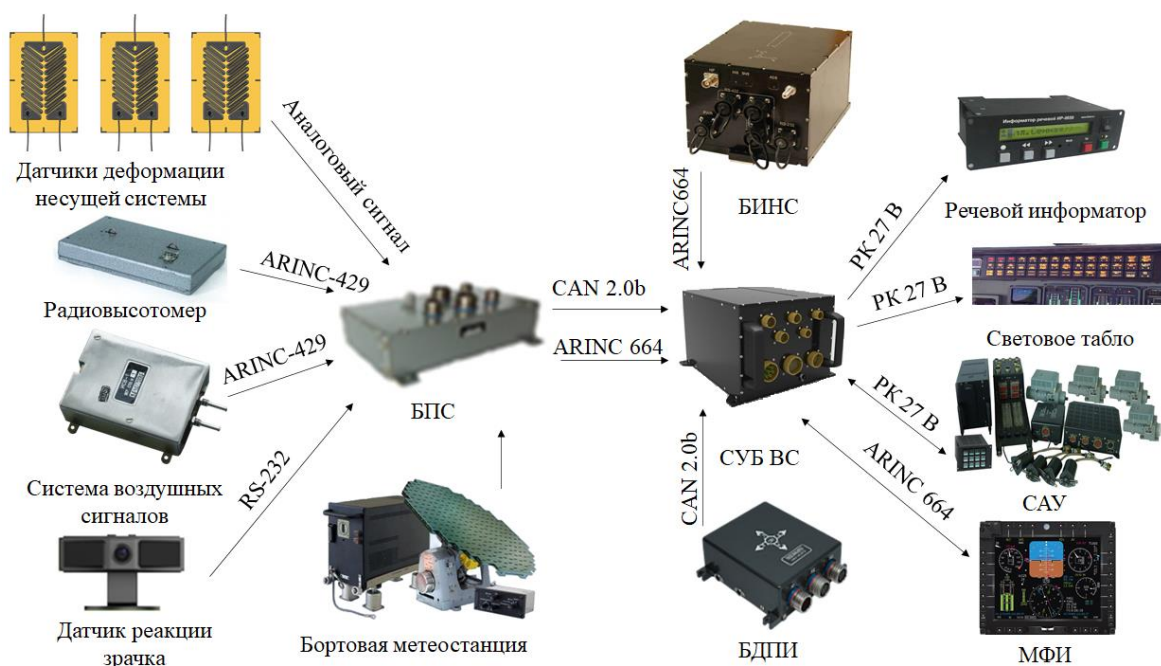


Рис. 13. Схема взаимодействия СУБ с комплексом бортового оборудования ВС
 Здесь БПС – блок преобразования сигналов, СУБ ВС – система управления безопасностью полета ВС, БИНС – бесплатформенная инерциальная навигационная система, САУ – система автоматического управления, МФИ – многофункциональный индикатор, БДПИ – блок датчиков первичной информации.

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

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.
6. 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. Наземные испытания системы управления безопасностью полетом воздушного судна, позволяют проверить ее работоспособность 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 14.

Здесь СУБ ВС – бортовая 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

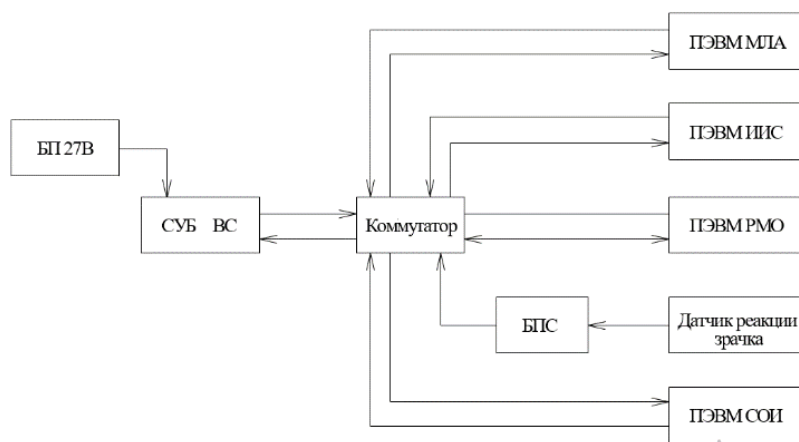


Рис. 14. Структурная схема стенда наземных испытаний СУБ ВС

Из структурной схемы видно, что бортовая система управления безопасностью полета воздушного судна подключается к оборудованию стенда по цифровым линиям связи Ethernet. 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. На основе полученных данных об угрозе АП проведены испытания программного обеспечения устройства поддержки принятия решений экипажем.

В приложении представлено применение метода оценки и парирования угрозы авиационного происшествия при заходе на посадку воздушного судна вертолетного типа, программа парирования угрозы авиационного происшествия.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложена методология обеспечения безопасности полета ВС, в основу которой положены средства интеллектуальных технологий, действия которых направлены на оценку, прогнозирование и парирование угрозы авиационного происшествия.

2. Разработана бортовая система управления безопасностью полета воздушного судна, которая реализует методы и алгоритмы повышения безопасности полета. Основными элементами системы являются средства интеллектуальных технологий, представленные устройствами поддержки принятия решений и нечеткой логики. Отличительной особенностью

предложенной системы является наличие в ее структуре элементов предварительной оценки угрозы авиационного происшествия, выходная информация с которых используется для прогнозирования и парирования авиационного происшествия.

3. Сформирован критерий безопасности полета воздушного судна, учитывающий влияние совокупности внутренних и внешних воздействующих факторов, согласно которому полет является безаварийным, если оценка условий полета воздушного судна $Y(t) = [0.5; 1.0]$. Отличительной особенностью предложенного критерия является интегральная оценка безопасности полета воздушного судна в диапазоне изменения от безаварийных до катастрофических на основе значений лингвистических переменных, характеризующих психофизическое состояние экипажа, техническое состояние объекта управления и внешних воздействующих факторов.

4. Предложена математическая модель парирования угрозы авиационного происшествия, позволяющая определить изменение переменной парирования угрозы авиационного происшествия, выполняемого действиями экипажа или системой автоматического управления. В отличие от существующих математических моделей, описывающих предотвращение угрозы авиационного происшествия, предложенная модель содержит переменные оценки угрозы авиационного происшествия и ее парирования в виде нечеткой функции принадлежности, а также разделение управляющего воздействия парирования угрозы происшествия на действия экипажа и системы управления ВС.

5. Получен закон управления безопасностью полета ВС направленный на предотвращение угрозы авиационного происшествия реализуемой системой автоматического управления воздушного судна в зависимости от оценки безопасности полета воздушного судна. Отличительной особенностью полученного закона управления является обеспечение гарантированного управления, выполняющего условие безопасности полета ВС.

6. Разработан метод оценки угрозы авиационного происшествия, отличающийся от известных методов обработкой информации о психофизическом состоянии экипажа, состояниях объекта управления и внешних воздействующих факторов с использованием интеллектуальных технологий и предложенных критериев безопасности полета воздушного судна, что позволяет выявить и оценить угрозу авиационного происшествия по совокупности воздействующих факторов на условия пролета воздушного судна. Также предложенный метод повышает оценку угрозы авиационного происшествия под влиянием психофизического состояния экипажа в аварийных условиях полета воздушного судна на 25%.

7. Разработан метод прогнозирования изменения переменных, влияющих на безопасность полета воздушного судна, с использованием средств нечеткой логики и оценки изменения случайных процессов. В отличии от существующих методов прогнозирования угрозы авиационных происшествий, предложенный метод учитывает динамику изменения совокупности переменных безопасности полета судна, а также изменение угрозы авиационного происшествия во время

полета ВС. При этом среднеквадратичное отклонение контролируемых переменных за время прогноза не превышает 3%.

8. Предложен метод принятия решений экипажа по парированию угрозы авиационного происшествия, который отличается выдачей рекомендаций экипажу парирования угрозы авиационного происшествия в зависимости от ее текущего и прогнозируемого значения с определением переменных, влияющих на ее изменение. Исследование набора правил поддержки принятия решений экипажа позволило определить, что индекс их полноты ИП = 1 и индекс противоречивости ИПР $\leq 0,4$.

9. Разработаны алгоритмы функционирования системы управления безопасностью полета ВС: алгоритмы оценивания и прогноза состояния авиационной транспортной системы, обеспечивающие идентификацию текущего и будущего состояний ВС.

10. На основе проведенных исследований взаимодействия системы управления безопасностью полета ВС с сопрягаемым оборудованием и определены вероятности отказа ее функций, что позволяет подтвердить заданные показатели ее надежности. Согласно выполненным исследованиями отказ системы управления безопасности полета воздушного судна не должен приводить к ситуации хуже усложнение условий полета с вероятностью события 10^{-3} .

11. Предложена методика отработки системы управления безопасностью полета ВС на стенде полунатурного моделирования, что позволяет подтвердить работоспособность ее программно-алгоритмического обеспечения. Предложенная методика отличается от существующих способов программного и аппаратного обеспечения систем управления безопасностью полета качественной и количественной оценкой работоспособности системы с имитацией условий полета при отказах бортового оборудования воздушного судна.

12. Полученные теоретические и практические результаты явились основой методов повышения безопасности полета воздушного судна, которые могут быть применены при разработке современных способов и перспективных систем управления воздушным судном.

Совокупность методов, методик и алгоритмов, полученных с использованием интеллектуальных технологий, направлены 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 нейтрализацией угрозы авиационного происшествия.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Кулик А.А., Большаков А.А., Сергушов И.В. Исследование взаимодействия комплексной системы управления с устройствами и системами бортового радиоэлектронного оборудования летательного аппарата // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2016. №1. С. 7-14.

2. Разработка системы управления безопасностью полета вертолета / А.А. Большаков, А.А. Кулик, И.В. Сергушов, Е.Н. Скрипаль // Мехатроника, автоматизация, управление. 2016. Т17. №10. С. 708–715.
3. Кулик А.А., Большаков А.А., Сергушов И.В. Разработка алгоритмов функционирования системы управления безопасностью полета летательного аппарата вертолетного типа // «Известия Самарского научного центра РАН». 2016. Т18. №1(2). С. 358–362.
4. 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. 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. 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. 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., Большаков А.А. Исследование комплексной системы управления летательного аппарата вертолетного типа при отказах бортового оборудования // Мехатроника автоматизация управление. 2019. Т.20. № 9.
9. Кулик А.А. Исследование взаимодействия системы управления безопасностью полета с комплексом бортового оборудования воздушного судна // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019.
10. Кулик А.А. Разработка методики испытания системы управления безопасностью полета воздушного судна // 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 // Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie». 2020. Vol.21 № 11. P. 656–662.
12. Кулик А.А., Большаков А.А. Методологические подходы к разработке интеллектуальной авиационной системы управления безопасностью полетов // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. №3. С. 41-48.
13. Kulik A. Artificial Intelligence – Based Aircraft Accident Threat Parrying Method // Proceeding of Telecommunication Universities. 2021. Vol. 7. №4. P. 110-117.
14. Kulik A.A. Development of an algorithm for predicting an emergency situation on board an aircraft // Caspian Journal: Management and High Technologies. 2021. №4 (56). P. 9-17.
15. Kulik, A.A., Bolshakov A.A. Algorithm of a device designed to support decision making to counter the threat of an aviation accident // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering. 2021. № 3 (136). P. 46 – 59.
16. Кулик А.А. Исследование методов оценки и парирования угрозы авиационного происшествия воздушного судна вертолетного типа // Труды учебных заведений связи. 2022. Т. 8. №1. С. 49-56.

17. Кулик А.А. Применение методов оценки и предотвращения аварийных условий полета беспилотного воздушного судна // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2023. №4. С. 39-47.

Свидетельства о результатах интеллектуальной деятельности

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

19. Бортовая система управления безопасностью полета: пат. на полезную модель № 203679 / А.А. Большаков, А.А. Кулик; заявл. № 2020140070/11; опубл. 15.04.2021. Бюл. № 11.

Публикации изданиях, индексируемых в Scopus

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

21. 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.

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

Монографии

23. Пилотажные комплексы и навигационные системы вертолетов / А.А. Кулик [и др.]. М.: Инновационное машиностроение. 2017. 368 с.

Публикации в других изданиях и конференциях

24. Математическое моделирование резервного контура управления летательным аппаратом вертолетного типа / А.А. Кулик, А.А. Большаков, В.П. Глазков, И.В. Сергушов // Сборник трудов международной конференции «Математические методы в технике и технологиях». 2016. №10(92). С. 130–135.

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

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

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

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