

## АННОТАЦИЯ

диссертационной работы Аняатовой Разиям Курванжановны  
«Методология снижения влияния человеческого фактора на безопасность полетов»,  
представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD)  
по специальности: 6D071400 - «Авиационная техника и технологии»

### **Актуальность работы.**

Общепризнано, что безопасность движения на транспорте одна из наиболее актуальных проблем, при этом более 80% происходит по влиянию человеческого фактора.

Понятие «человеческий фактор» в гражданской авиации характеризуется чрезвычайной многогранностью и сложностью, и связан с проблемой аварийности, поскольку именно от скорости и правильности принятия решений человеком зависит жизнь и здоровье людей.

Насколько остро эта проблема стоит в авиационной отрасли Республики Казахстан, можно судить хотя бы из источников по анализу состояния безопасности полётов, где указано, что в более чем 90% случаев авиационных происшествий причинами стали, в том числе, нарушения экипажами установленных правил выполнения полётов, неправильные решения в полёте и некачественные действия при эксплуатации авиационной техники, недостаточная подготовка по английскому языку, ошибки в технике пилотирования и т.д.

Проведенный анализ работ, посвященных настоящей теме исследования, позволил установить наличие нескольких вариантов решений указанной проблемы путем применения новых методов психодиагностики и обучения, повышения ответственности самого человека, его психофизиологических, психологических и поведенческих возможностей.

Однако, предлагаемые решения не являются достаточно эффективными, поскольку при допуске авиационного персонала к эксплуатации и обслуживанию авиационной техники учитывается только профессиональная подготовка и соответствие некоторым медицинским показателям. При этом не проводится внешняя адекватная оценка морально-психологических качеств в условиях отсутствия совершенной техники распознавания эмоциональных состояний.

Сформулированная проблема и установленные выводы легли в основу проведения теоретических исследований по оценке статистической информации авиапроисшествий, по обобщению достижений мировых авиационных держав и отечественных исследователей в области снижения влияния «человеческого фактора», по обеспечению высокоэффективной системы управления безопасностью полётов, основанной на применении искусственного интеллекта.

В результате установлено, что возможное снижение влияния человеческого фактора на безопасность полетов может быть достигнуто применением двух подходов: во-первых, путем совершенствования владения не только авиационным английским, но и простым английским языком как для пилотов и диспетчеров, так и для инженерно-технического состава и бортпроводников; во-вторых, применением методов распознавания психоэмоциональных состояний на основе цифровой обработки речевых сигналов и интеллектуального анализа данных.

Таким образом, на основании текущего состояния проблемы, диссертационные исследования, направленные на разработку методологии по снижению влияния человеческого фактора на безопасность полетов и авиационную аварийность, в настоящее время являются очень важными и актуальными.

### **Цель диссертационной работы**

Целью работы является разработка теоретико-методологических подходов, научных и практических рекомендаций по повышению безопасности полётов на основе снижения влияния человеческого фактора, путем создания и оптимизации методов цифровой обработки и интеллектуального анализа речевых сигналов фразеологизмов авиационного и простого английского языков.

Для достижения поставленной цели в рамках диссертационной работы решаются следующие **задачи**:

1. Исследование психологической безопасности труда на производстве.

2. Исследование и анализ влияния человеческого фактора (ЧФ) на безопасность полетов (БП), определение ошибок человека при обслуживании воздушного судна и разработка системы безопасности на авиапредприятиях на основе оценки и анализа рисков психологической безопасности труда.

3. Исследование возможности распознавания психоэмоционального состояния (ПЭС) авиационного персонала по устойчивым фразеологизмам авиационного и простого английского языков.

4. Исследование процессов и явлений, лежащих в основе механизма речеобразования, изучение структуры речевого сигнала во временной и частотной областях, анализ особенности восприятия акустических волн органами слуха человека с позиции теории сигналов и систем.

5. Разработка комплексного подхода к интеллектуальному автоматическому дикторонезависимому распознаванию эмоционального состояния человека по речевому сигналу при использовании авиационного английского языка.

6. Формирование репрезентативного корпуса речевых сигналов для семи архетипических типов ПЭС англоязычной речи, отличающегося разнообразием используемых высказываний, числом представленных дикторов, вариативностью степени проявления ПЭС.

7. Разработка структуры и обоснование основных этапов процесса предварительной цифровой обработки речевых сигналов (препроцессинга)

для выделения информативных признаков в задаче автоматического распознавания эмоционального состояния диктора.

8. Поиск и определение наиболее информативных признаков речевых сигналов, способных обеспечить максимальный прирост информации в задачах классификации эмоционального состояния человека по голосу.

9. Разработка и экспериментальное исследование интеллектуальных алгоритмов классификации речевых сигналов для автоматического детектирования ПЭС без необходимости распознавания смысловой нагрузки анализируемых высказываний.

10. Оценка эффективности разработанных алгоритмов и методов интеллектуального анализа речевых сигналов в сравнении с существующими решениями дикторонезависимого распознавания ПЭС по голосу.

11. Разработка методологии, включающей правила формирования устойчивых фразеологизмов, интегральную методику и алгоритм снижения влияния ЧФ на безопасность полетов на основе распознавания психоэмоционального состояния авиационного персонала по речевому сигналу.

### **Методы исследования**

Для решения поставленных в диссертационном исследовании задач широко использовались методы аналитических исследований и математической статистики, теории сигналов и систем, цифровой обработки сигналов, спектрального кратковременного, а также корреляционного и вероятностного анализа.

Для построения математической модели классификатора применялись интеллектуальные методы распознавания образов на базе алгоритмов машинного обучения, аппарат синтеза глубоких сверточных нейронных сетей, инструменты компьютерного и математического моделирования, линейной алгебры, комплекс оптимизационных методов. В процессе выполнения экспериментальной части работы активно применялись средства автоматизации математических расчетов и инструменты для визуализации результатов на базе языка программирования Python 3.

Для разработки методологии использовались экспертные заключения и рекомендации ведущих специалистов в области гражданской авиации.

**Предметом исследования** являются технологии распознавания ПЭС для повышения безопасности полетов.

**Объектом исследования** являются речевые сигналы для оценки психоэмоционального состояния с выдачей экспертных заключений.

**Научная новизна.** Наиболее существенными новыми научными результатами, содержащимися в диссертационной работе, являются:

1. Обоснование применимости подхода к снижению влияния ЧФ на безопасность полетов на основе распознавания ПЭС авиационного персонала по устойчивым фразеологизмам авиационного английского языка, отличающегося от известных тем, что он позволяет объективно, по информативным параметрам, определять уровни стресса и усталости, распознавать депрессивные состояния, предотвращать утомляемость.

2. Разработан и обоснован общий процесс и методы последовательной предварительной цифровой обработки речевых сигналов для классификации на их основе эмоционального состояния диктора.

3. Предложены значимые информативные признаки, способ их извлечения и представления для автоматической классификации ПЭС по речевому сигналу методами интеллектуального анализа данных.

4. Предложен общий подход к решению задачи автоматической классификации ПЭС человека по речевому сигналу методами интеллектуального анализа информации.

5. Разработана математическая модель классификатора ПЭС по речевому сигналу, основанная на использовании комплексной информации от двух глубоких сверточных нейронных сетей, обученных на различных информативных признаках.

6. Предложена комплексная методология повышения безопасности полетов путем принятия экспертных корректирующих действий на основании оценок эмоционального состояния авиационного персонала: пилотов, диспетчеров, инженерно-технических работников и бортпроводников.

#### **Практическая значимость.**

Практическая значимость работы состоит в возможности применения полученных в исследовании результатов для построения автоматических систем для авиационной отрасли, позволяющих выполнять распознавание эмоционального состояния человека по речевому сигналу. В том числе для определения уровня стресса и усталости, распознавания депрессивных состояний, предотвращения утомляемости.

Результаты представленного исследования позволяют разрабатывать новые эффективные системы поддержки принятия решений для человеческого персонала, направленные на снижение рисков ошибок и понижения внимания.

Предложенная в работе структура препроцессинга позволяет на практике эффективно реализовать процесс цифровой обработки речевых сигналов для последующего применения интеллектуальных методов обработки информации.

Представленный в диссертационном исследовании комплексный подход к интеллектуальному автоматическому распознаванию ПЭС по речевому сигналу может быть применен в других сферах человеческой деятельности, связанных с эксплуатацией сложных технических систем с человеко-машинными интерфейсами.

Предложенная интеллектуальная система распознавания ПЭС авиационного персонала, позволяет, в том числе, обеспечивать помехоустойчивое распознавание речевых сигналов сложной формы, наращивать базы данных, выдавать различные количественные и качественные характеристики.

#### **Связь с государственными программами**

В Послании Президента Республики Казахстан - Лидера нации Нурсултана Назарбаева народу Казахстана «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства» (Астана, Акорда, 2012

год) развитию транспортно-логистического потенциала выделяется особая роль. В этом отношении данная диссертационная работа полностью соответствует сформулированным требованиям к современному направлению развития воздушного транспорта.

В Послании Главы государства народу Казахстана «Конструктивный общественный диалог – основа стабильности и процветания Казахстана» Астана, Акorda, 2019 год Президент РК Касым-Жомарт Токаев обратил внимание исполнительной власти на полную и качественную реализацию Государственной программы инфраструктурного развития "Нұрлы жол" на 2020 – 2025 годы, утвержденной Постановлением Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года № 1055. В данном стратегическом проекте указано, что действенная модернизация затронет всю транспортную инфраструктуру.

Государственная программа «Цифровой Казахстан», утвержденная Постановлением Правительства РК №827 от 12.12.2017 предполагает ускорение темпов развития экономики РК и улучшение качества жизни населения за счет использования цифровых технологий в среднесрочной перспективе, а также создание условий для перехода экономики Казахстана на принципиально новую траекторию развития, обеспечивающую создание цифровой экономики будущего в долгосрочной перспективе.

Предлагаемые в работе методология снижения влияния ЧФ на безопасность полетов и интеллектуальный метод распознавания ПЭС по речевому сигналу согласуются с концепцией развития авиационной отрасли воздушного транспорта в части обеспечения безопасности полетов воздушных судов и удовлетворения потребностей экономики Республики Казахстан, физических и юридических лиц в авиационных услугах.

Научные исследования, представленные в диссертационной работе, проводились в рамках грантового финансирования МОН РК по теме «AP08857126 - Разработка комплекса интерактивных обучающих программ по технологическим процессам ремонта авиационной техники».

#### **Положения диссертации, выносимые на защиту.**

1. Комплексный подход к интеллектуальному автоматическому распознаванию ПЭС по речевому сигналу для снижения влияния ЧФ на безопасность полетов.

2. Процесс предварительной обработки речевых сигналов на этапе извлечения информативных признаков для автоматической классификации эмоционального состояния человека.

3. Метод использования информативных признаков и форма их представления для построения модели многоклассового классификатора в задаче распознавания ПЭС по речевому сигналу.

4. Математическая модель многоклассового классификатора для определения эмоционального состояния диктора по его речевому сигналу на базе синтезированных глубоких сверточных нейронных сетей, обученных на различных типах информативных признаков.

5. Методы снижения влияния ЧФ на безопасность полетов на основе распознавания эмоционального состояния авиационного персонала по устойчивым фразеологизмам авиационного английского языка.

#### **Апробация работы.**

Результаты диссертационного исследования были внедрены в учебный процесс Академии гражданской авиации и на производстве ТОО «Sunkar Air» для повышения безопасности полетов, а также учтены при разработке стратегического Плана развития предприятия до 2025 года, который направлен на совершенствование технологии профайлинга на основе искусственного интеллекта в систему авиационной безопасности.

Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на: XIV-й Международной научно-технической конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск, Россия, 2020); VII-й Международной научно-практической конференции «Наука и Образование в современном мире: вызовы 21 века» (Нур-Султан, Казахстан, 2020); Международной научной конференции «V International Scientific-Practical Conference «Integration of the Scientific Community to the Global Challenge so four Time» (Токио, Япония, 2020); IV-й Международной научно-практической конференции «Научно-технические аспекты инновационного развития транспортного комплекса» (Донецк, Украина, 2018); Международной научно-теоретической конференции студентов и молодых ученых «Рухани жаңғыру-Елбасы тандауы, қоғамның қолдауы» и Всемирному дню космонавтики (Алматы, Казахстан, 2018); Международной научно-теоретической конференции студентов и молодых ученых Академии гражданской авиации (Алматы, Казахстан, 2017); Международной конференции «1st international pre-service teachers conference «Teaching and learning English in transition to tri-lingual education: research, challenges and success» (Шымкент, Казахстан, 2018); III-й Международной научно-практической молодежной конференции «Творческий потенциал молодежи в решении авиакосмических проблем» (Баку, Азербайджан, 2018).

#### **Публикации.**

Основные результаты диссертационного исследования нашли отражение в 24 научных работах, в том числе в 8 статьях, опубликованных в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, в 3 статьях – в международных научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus, в 8 работах, отраженных в трудах международных научных конференций, 5 – в международных и республиканских научных рецензируемых журналах, в том числе специализированных в области авиационной техники и технологии.

#### **Личный вклад автора.**

Основные экспериментальные и теоретические результаты, полученные в ходе проведения диссертационного исследования, получены автором самостоятельно. В опубликованных научных работах в составе коллектива соавторов, соискателю принадлежит основной вклад при получении, обобщении и анализе достигнутых результатов.

### **Структура диссертации.**

Диссертация имеет классическую структуру: вводная часть, основная часть (четыре главы), заключение, список использованных источников и приложения. Работа изложена на 132 страницах компьютерного текста, включает 36 рисунков, 10 таблиц и 130 наименований библиографических источников.

### **Основные результаты исследований.**

В диссертационном исследовании дано теоретическое обоснование и предложено решение актуальной научной проблемы снижения влияния человеческого фактора (ЧФ) на безопасность авиационно-транспортной системы на основе применения искусственного интеллекта. В результате статистического анализа происшествий и инцидентов определена профессиональная группа авиационного персонала, недостаточный уровень знаний авиационного или простого английского языков, а также неправильные действия которых, являются ЧФ, влияющим на безопасность полетов. Это пилоты, диспетчера, инженерно-технический состав и бортпроводники.

По результатам исследования установлено, что существуют определенные признаки поведения авиационного персонала, которые отражаются на речевом сигнале.

Предложен новый подход к решению проблемы по снижению количества происшествий и инцидентов путем определения психоэмоциональных состояний (ПЭС) авиационного персонала на основе распознавания речевых сигналов, поскольку данная характеристика индивидуальна, легко измерима, а аппаратная и программная реализация анализа и обработки имеет невысокую стоимость и применима для широкого спектра задач.

Установлено, что эффективными интеллектуальными технологиями для автоматической классификации ПЭС по речевому сигналу являются методы теории машинного обучения, так как они позволяют выявлять скрытые закономерности в данных, в том числе в условиях существования их некоторой неопределенности. Для формирования репрезентативного набора обучающих данных был создан корпус из звукозаписей эмоционально окрашенной речи для семи классов на авиационном и простом английском языках, отличающийся разнообразием дикторов обоих полов, произносимым набором фраз, степенью эмоциональной окраски.

Предложена новая дискретная модель речеобразования для выделения информативных признаков в структуре препроцессинга. Предложены специальные процедуры цифровой обработки сигналов для предварительной фильтрации и удаления пауз. Это позволило установить признаки объектов для обучения математической модели классификатора, поскольку содержат информацию об эмоциональной окраске речи.

Определена архитектура глубоко-сверточной нейронной сети (ГСНС) и алгоритм ее обучения на отобранных информативных признаках, позволяющая получить высокие результаты классификации ПЭС авиационного персонала для семи классов объектов только по акустическим

данным исследуемых образцов. Для улучшения параметров классификации ПЭС предложен метод, объединяющий результаты классификации от двух ГСНС, обученных на разных типах информативных признаков: мелспектрограммах и мел-частотных кепстральных коэффициентах. В итоге формируется результат в виде среднего значения вероятностей принадлежности исследуемого образца к каждому из семи классов ПЭС, равной 0,9007 на отложенной тестовой подвыборке, что подтверждает превосходство предложенного метода по метрикам качества над существующими моделями.

Предложены научно-теоретические основы формирования фразеологизмов при радиообмене для пилотов и диспетчеров, а также стандартных фраз для инженерно-технического персонала и бортпроводников. Это позволило впоследствии предложить новую методологию снижения влияния ЧФ на безопасность полетов на основе распознавания ПЭС по речевому сигналу для авиационного персонала по семи архетипическим классам, включающую следующие элементы: правила формирования устойчивых фразеологизмов и фраз, интегральная методика и алгоритм, интеллектуальная система с выдачей рекомендаций экспертам.

Разработана интеллектуальная система, которая позволяет дополнительно обеспечивать помехоустойчивое распознавание речевых сигналов сложной формы, наращивание базы данных информационных признаков, возможность предоставления различных количественных и качественных (лингвистических) характеристик, диспетчеризацию и т.д.