

БУЛАТОВА АНАСТАСИЯ ЕВГЕНЬЕВНА

**МЕТОД И АЛГОРИТМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ УТОМЛЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ
АВИАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ИХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

2.9.6 Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева» (ФГБОУ ВО УИ ГА).

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Авиационной техники» ФГБОУ ВО УИ ГА, **Евсевичев Денис Александрович**

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

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой 703 «Системное проектирование авиакомплексов» Института № 7 «Робототехнические и интеллектуальные системы» ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) **Неретин Евгений Сергеевич**

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации»

Защита состоится «06» декабря 2024 года в 10 часов на заседании диссертационного совета 42.2.002.01 на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова» по адресу: 196210, г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38.

Тел.: (812) 704-18-18, факс: (812) 704-18-63, e-mail: info@spbguga.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова и на сайте: https://spbguga.ru/files/Dissovet/42.2.002.01/Bulatova_Dissertacia.pdf

Автореферат разослан «3» октября 2024 года.

Ученый секретарь

Диссертационного совета 42.2.002.01

кандидат технических наук, доцент

Н.Е. Баранов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Международная организация гражданской авиации в Глобальном плане обеспечения безопасности полетов (БП) отмечает необходимость действий, направленных на непрекращающееся совершенствование процессов по обеспечению БП. Отмечается, что желаемой целью в данной сфере является сведение к нулю числа погибших в авиационных происшествиях к 2030 году и дальнейшее поддержание такого уровня. С этой целью важно обеспечить непрерывное снижение эксплуатационных рисков для БП, формирующихся при выполнении какой-либо деятельности в авиационной отрасли.

Среди группы опасных факторов, влияющих на БП, особое место занимает человеческий фактор. Он включает в себя нарушения, ошибочные действия или бездействия лиц, связанных с организацией, подготовкой, выполнением и обеспечением полетов. Большое влияние на возможность совершения ошибок специалистами авиационного персонала оказывает их состояние ввиду утомления.

С учетом исследования причин и обстоятельств авиационных происшествий, произошедших в сфере гражданской авиации РФ за период с 2010-2021 гг., было определено, что 49,7 % из них были связаны с явлением человеческого фактора, в том числе 8,4 % случаев произошли по причине ошибок пилотов воздушных судов (ВС) ввиду их утомления.

Согласно данным Национального совета по безопасности на транспорте в США, 23 % авиационных происшествий в период 2001-2012 гг. были вызваны утомлением специалистов авиационного персонала.

Распространенность утомления среди авиационного персонала во всем мире высока. Согласно исследованию, проведенному членами ассоциации пилотов ЕСА, более 90 % опрошенных пилотов в Германии хотя бы 1 раз в течение последних трех лет ощущали себя утомленными и непригодными для выполнения служебных обязанностей, находясь в кабине воздушного судна, однако до 80 % от их числа не сообщали об этом. Более того, большая часть пилотов ВС указала на допущение ошибок в работе из-за собственного утомления (80 % в Германии, 71 % в Швеции, 79 % в Норвегии, до 90 % в Дании).

В 2022-2023 гг. в некоторых структурных подразделениях стратегического системообразующего предприятия ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» отмечалась нехватка квалифицированных специалистов. Так, выросшая рабочая нагрузка на оставшийся персонал, нарушения режима труда и отдыха послужили предпосылкой для развития утомления авиационного персонала.

С 1 сентября 2022 года на территории России вступил в силу приказ № 10 Министерства транспорта «Об утверждении ФАП «Требования к юридическим лицам, индивидуальным предпринимателям, осуществляющим коммерческие воздушные перевозки...», где в пункте 7 отмечено, что эксплуатанты должны разработать и внедрить СУБП, включающую СУРУ – систему управления рисками, связанными с утомлением. Это значит, что теме контроля утомления авиационного персонала уделяется все больше внимания, в том числе и на законодательном уровне.

Поставленная в диссертационной работе научная задача по разработке метода и алгоритмов выявления утомления специалистов авиационного персонала для повышения надежности их деятельности соответствует пункту 12 «Управление БП. Исследование влияния

опасных факторов на БП. Структурный анализ и синтез иерархических и полиэнергетических систем и анализ процессов в этих системах. Обеспечение БП при эксплуатации авиационной техники. Расследование авиационных происшествий и инцидентов» паспорта научной специальности 2.9.6 Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники, с учетом рассмотрения утомления специалистов авиационного персонала в качестве фактора опасности и изучения его влияния на БП.

Степень разработанности темы исследования. Необходимость контроля и оценки утомления отражена в работах, выполненных сотрудниками многих федеральных государственных учреждений, среди которых: ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны РФ, ФГБУН ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (журнал «Авиакосмическая и экологическая медицина»), ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», ФГБНУ «НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» (журнал «Медицина труда и промышленная экология»), ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова», ФГБВОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Министерства здравоохранения РФ и другие.

В контексте изучения влияния утомления специалистов авиационного персонала на обеспечение БП исследования проводятся во ФГУП ГосНИИ ГА, а также в образовательных учреждениях, таких как: Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА), Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова (СПбГУ ГА), Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева (УИ ГА) и их филиалы, Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – Казанский авиационный институт (КНИТУ-КАИ).

Важность управления рисками, связанными с утомлением специалистов авиационного персонала, не раз отмечала в своих выступлениях Сурина Э.И., являясь членом рабочей группы IATA по вопросам СУРУ и экспертом в области человеческого фактора и БП. Более того, специалист отмечает необходимость защиты человека – самого ценного ресурса в авиации – от неконтролируемых ошибок, происходящих по причине развития утомления.

Вопросам контроля утомления, в том числе и с учетом оптимизации режимов труда и отдыха специалистов авиационного персонала, с целью повышения БП в гражданской авиации посвящены работы многих ученых, включая Бухтиярова И.В., Зибарева Е.В., Ивашова С.Н., Климова А.А., Кравченко О.К., Гузий А.Г. и прочих специалистов.

Разработкой и обучением искусственных нейронных сетей для контроля утомления, в том числе и авиационного персонала, занимались представители из разных стран. Информацию по данной тематике можно найти в работах отечественных ученых, а также у зарубежных специалистов. Вопросы контроля утомления специалистов авиационного

персонала с учетом режимов труда и отдыха и их нормирование на законодательном уровне в Российской Федерации закреплены и изложены в отечественной документации.

Тем не менее, проблема, связанная с организацией непрерывного контроля утомления специалистов авиационного персонала, не имеет законченного решения. Это приводит к необходимости проведения различных теоретических и экспериментальных исследований, а также осуществления разработки методов и практических решений для обнаружения, оценки и прогнозирования утомления специалистов авиационного персонала.

Объект исследования – опасные факторы, влияющие на надежность деятельности специалистов авиационного персонала.

Предмет исследования – методы и средства, позволяющие выявить утомление специалистов авиационного персонала.

Цель исследования: разработка нового научно-обоснованного метода и алгоритмов выявления утомления специалистов авиационного персонала для повышения надежности их деятельности.

Для достижения поставленной цели были определены следующие **задачи исследования:**

- обзор научной литературы и статистических данных для выделения основных опасных факторов, оказывающих влияние на надежность деятельности авиационного персонала;
- обзор научной отечественной и зарубежной литературы для определения существующих методов и средств выявления утомления специалистов авиационного персонала с их преимуществами и недостатками;
- сравнительный анализ подходов контроля утомления специалистов авиационного персонала;
- формирование теоретической основы, позволяющей оценить работоспособность специалистов авиационного персонала;
- разработка нейронной сети с последующим ее обучением для выявления утомления специалистов авиационного персонала;
- проведение серии экспериментов с использованием метода многоканальной электроэнцефалографии для проверки эффективности созданной нейросетевой модели выявления утомления специалистов авиационного персонала;
- оценка надежности деятельности специалистов авиационного персонала при развитии утомления до и после интеграции нейросетевой модели в структуру управления БП.

Научная новизна работы.

Проведенные исследования позволили выделить следующие научные результаты:

1. Метод выявления утомления специалистов авиационного персонала, основанный на оценке их работоспособности по результатам прохождения тестирования.
2. Совокупность алгоритмов выявления утомления специалистов авиационного персонала с учетом прохождения тестирования и оценки результатов в модели нейронной сети, обученной на наборе данных после их предварительной обработки.
3. Схема интеграции нейросетевой модели выявления утомления в структуру управления БП в качестве средства упреждения для повышения надежности деятельности специалистов авиационного персонала.

Методы исследования.

Для решения поставленных задач использованы методы математического анализа, математического программирования, теории оптимизации, машинного обучения, глубокого обучения, объектно-ориентированного подхода к разработке программных средств.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Теоретическая значимость диссертации состоит в том, что в ней были получены новые данные для выявления утомления среди специалистов авиационного персонала. Был сформирован датасет (набор данных), который может быть использован в других работах. Разработан метод выявления утомления специалистов авиационного персонала. Предложена схема интеграции спроектированной нейросетевой модели в структуру управления БП.

Практическим результатом проведенной исследовательской работы является программная реализация метода выявления утомления специалистов авиационного персонала и алгоритмов выявления утомления на основе прохождения тестирования и оценки результатов в обученной модели нейронной сети после ступенчатой предобработки данных. Разработанный программный продукт является удобным инструментом, имеющим высокую эффективность работы с точки зрения затрат времени и ресурсов, по сравнению с существующими методами и средствами (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2024660985 от 15.05.2024 года).

Основные результаты диссертационной работы были внедрены в Ульяновском институте гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, Ульяновском АДЦ – филиале «Аэронавигация Центральной Волги» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД», авиакомпании «Волга-Днепр», что подтверждается соответствующими актами.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Метод выявления утомления специалистов авиационного персонала, позволяющий обнаружить снижение работоспособности в результате прохождения тестирования с учетом базового набора симптоматических атрибутов (внимание, волевые процессы, восприятие, моторика, мышление, память).
2. Алгоритм ступенчатой предобработки данных, включающий регуляризацию, снижение мультиколлинеарности, стандартизацию и позволяющий сформировать итоговый датасет (набор данных) для обучения модели нейронной сети.
3. Нейросетевая модель с оптимальной архитектурой, содержащей один входной слой, три скрытых слоя, один выпадающий слой и один выходной слой, обеспечивающая наибольшую точность выявления утомления по результатам прохождения тестирования.
4. Алгоритм выявления утомления специалистов авиационного персонала с учетом прохождения тестирования и оценки результатов в обученной модели нейросети.
5. Схема интеграции нейросетевой модели выявления утомления, как упреждающего средства, в структуру управления БП на основе концепции СУРУ, эффективность которой подтверждена в ходе электроэнцефалографических исследований испытуемых.

Достоверность и обоснованность. Результаты диссертационного исследования получены при использовании современных методов и при выполнении серии экспериментов на сертифицированном оборудовании. Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается близостью расчетных данных с результатами экспериментальных исследований, корректным использованием апробированных научных методов и средств.

Личный вклад автора. В диссертации изложены результаты работ, которые были выполнены соискателем лично под научным руководством доцента Д.А. Евсевичева. Автор выполнил основной объем теоретических исследований, непосредственно участвовал в процессе всего цикла экспериментальных исследований, научно обосновал и разработал математическую модель, программный продукт для выявления утомления, основанный на использовании нейронной сети.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 9 научных конференциях: Международная научно-практическая конференция старшеклассников, студентов и аспирантов «Молодежь и наука» (Нижний Тагил, 2022 г.); XIV Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника» (Ульяновск, 2022 г.); XIV Международная научно-практическая конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Информатика, моделирование, автоматизация проектирования» (Ульяновск, 2022 г.); XV Международная молодежная научная конференция «Гражданская авиация: XXI век» (Ульяновск, 2023 г.); Международная научно-техническая конференция, посвященная 100-летию отечественной гражданской авиации «Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества» (Москва, 2023 г.); 26-я Всероссийская молодежная научная конференция «Актуальные проблемы физической и функциональной электроники» (Ульяновск, 2023 г.); V научно-практическая конференция «Современные тенденции использования воздушного пространства и перспективные системы обеспечения полетов» (Москва, 2023 г.); I и II Международная молодежная научно-практическая конференция «Состояние и основные тенденции развития гражданской авиации» (Санкт-Петербург, 2023 и 2024 г.).

Некоторые результаты данной диссертационной работы были получены в рамках выполнения гранта ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям), выполненного автором лично и предоставленного в рамках программы «Студенческий стартап» федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» (Договор № 1097ГССС15-L/88719 от 09.08.2023).

Публикации. По материалам диссертационного исследования подготовлено 14 (88 с.) печатных работ, из которых: 4 (46 с.) в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Минобрнауки; 10 (42 с.) научных статей и тезисов, опубликованных в других изданиях; получено 11 свидетельств для ЭВМ (№ 2023614982 от 09.03.2023 г., № 2023615365 от 14.03.2023 г., № 2023617671 от 12.04.2023 г., № 2023663161 от 20.06.2023 г., № 2023664124 от 30.06.2023 г., № 2023665736 от 19.07.2023 г., № 2023667914 от 21.08.2023 г., № 2023680168 от 27.09.2023 г., № 2023680325 от 28.09.2023 г., № 2024660985 от 15.05.2024 г., № 2024662136 от 23.05.2024 г.)

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, приложения. Общий объем работы составляет 138 страниц, включая 47 рисунков, 12 таблиц. Список литературы включает в себя 120 научных работ отечественных и зарубежных авторов.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определена степень разработанности выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, его научная новизна, теоретическая и практическая значимость, отмечен личный вклад автора, а также выделены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе были выделены основные факторы опасности (системные (технические, человеческие и организационные) и внесистемные), влияющие на деятельность специалистов авиационного персонала. Среди группы опасных факторов особое место занял человеческий фактор, включающий в себя нарушения, ошибочные действия или бездействия лиц, связанных с организацией, подготовкой, выполнением и обеспечением полетов. Большое влияние на возможность совершения ошибок специалистами авиационного персонала оказывает их состояние ввиду утомления.

На базе Ульяновского АДЦ ЕС ОрВД филиала «Аэронавигация Центральной Волги» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» была выполнена оценка деятельности специалистов авиационного персонала при развитии утомления. Старшими диспетчерами дежурных смен фиксировалось количество ошибок диспетчерского состава в первый и последний час работы. Результаты приведены в табл. 1.

Табл.1 – Количество ошибок диспетчеров УВД при исполнении служебных обязанностей

Диспетчер и тип пункта	Первый час смены	Последний час смены
Смена № 1		
Диспетчер СДП	0	2
Диспетчер ПДСР	0	2
Диспетчер ДПК	2	3
Диспетчер ДПП	1	0
Диспетчер ЦПИ	1	1
Смена № 2		
Диспетчер и тип пункта	Первый час смены	Последний час смены
Диспетчер СДП	1	2
Диспетчер ПДСР	0	1
Диспетчер ДПК	1	1
Диспетчер ДПП	0	1
Диспетчер ЦПИ	0	0

Как правило, при развитии утомления происходило увеличение количества ошибок у диспетчерского состава в ходе его деятельности. Среди ошибок чаще всего отмечались:

- отсутствие процедуры опознавания ВС при первом сеансе радиосвязи с экипажем ВС;
- отсутствие обозначения позывного своего диспетчерского пункта при первоначальном выходе экипажа ВС на связь;
- невыполнение требования в части подтверждения выданных экипажу ВС разрешений и указаний в случае, если экипаж ВС не подтвердил или подтвердил неправильно переданное ему сообщение;
- непредоставление информации в части взаимного местоположения экипажам конфликтующих ВС;

– неполное использование функциональных возможностей комплекса средств автоматизации УВД на рабочем месте специалиста.

Утомление специалистов авиационного персонала было рассмотрено в качестве опасного фактора, влияющего на их деятельность. Были выделены его основные (физические, ментальные и эмоциональные) признаки, причины развития, определены следствия формирования утомления в ходе трудовой деятельности авиационного персонала. Распространенность утомления в авиации была отмечена в ходе анализа множества отечественных и зарубежных авиационных событий, где основным или сопутствующим фактором послужило данное состояние. Исследования по данному направлению позволили определить степень влияния утомления специалистов авиационного персонала на надежность их деятельности.

Контроль утомления специалистов авиационного персонала рассматривался в качестве способа управления рисками при обеспечении БП. В ходе оценки рисков, связанных с развивающимся или сформированным утомлением специалистов авиационного персонала, с учетом экспертной методики ИКАО, включая матрицу последствий и вероятностей, было установлено следующее:

- серьезность риска может варьироваться от катастрофической до ничтожной (от А до Е);
- вероятность риска может характеризоваться состояниями от «часто» до «крайне маловероятно» (от 5 до 1);
- возможны три уровня приоритезации риска: неприемлем; приемлем при условии разработки соответствующих мероприятий; приемлем, мероприятий не требуется.

Даже в случае полной приемлемости рисков, связанных с утомлением, необходимо проводить профилактическую работу с целью уменьшения рисков до наименьшего практически возможного уровня. С учетом анализа авиационных событий, произошедших по причине утомления специалистов авиационного персонала, было отмечено то, что происходили события различного типа: авиационные инциденты (АИ), катастрофы и серьезные авиационные инциденты (САИ). Среди них: АИ (несанкционированный выезд на ВПП) 08.07.2001 г., АИ (вылет с незаданной ВПП) 25.09.2001 г., АИ (несанкционированный выезд на ВПП) 19.08.2004 г., АИ (несанкционированный выезд на ВПП) 23.03.2006 г., САИ (посадка на незаданную ВПП) 08.06.2022 г., САИ (отсутствие контроля за полетом ВС) 15.08.2022 г., САИ (отклонение ВС от маршрута полета) 25.01.2024 г., катастрофа 27.08.2006 г. с CRJ-100, катастрофа 15.03.2015 г. с Ан-2, катастрофа 13.09.2015 г. с ЕЭВС, катастрофа 11.06.2016 г. с ЕЭВС, катастрофа 21.08.2017 г. с R-66, катастрофа 28.02.2020 г. с R-44.

Для формирования позитивной культуры БП, а также в рамках рекомендаций ИКАО по исполнению СУБП важно обеспечивать своевременное выявление источников опасности, оценивать и уменьшать риски для БП. В качестве метода упреждения могут быть использованы обследования, касающиеся утомления.

В рамках обзора научной литературы были определены существующие методы и средства выявления утомления специалистов авиационного персонала (субъективные и объективные). К основным преимуществам субъективных методов и средств относятся их простота, быстрота заполнения, возможность сбора значительного объема данных, а среди недостатков можно выделить предвзятость, низкую точность, а также зависимость от развития

культуры предоставления отчетности.

К преимуществам объективных методов и средств относятся их эффективность, достоверность, высокая точность, а среди недостатков – обременение для испытуемых, дороговизна, зависимость от наличия медицинского специалиста в области функциональной диагностики, требование значительных временных ресурсов.

После рассмотрения существующих методов и средств выявления утомления был осуществлен сравнительный анализ двух существующих подходов контроля утомления специалистов авиационного персонала – предписывающего подхода и концепции СУРУ. Установлено, что будущее развитие гражданской авиации в мире, включая авиационную отрасль Российской Федерации, связано с внедрением данной концепции. При подходе с СУРУ эффективность всех мер для снижения уровня риска будет зависеть от постоянного мониторинга данных, связанных с утомлением. Отмечено, что в рамках данной концепции важно использовать приемлемые и достоверные способы выявления утомления, а также необходима разработка новых научно-обоснованных методов и средств его обнаружения.

Во второй главе были получены и подготовлены данные для исследования утомления специалистов авиационного персонала. С учетом взаимосвязи между работоспособностью и утомлением, в рамках разработанного метода выявления утомления специалистов авиационного персонала была сформирована теоретическая основа, представляющая собой семь тестов, позволяющих оценить различные симптоматические атрибуты снижения уровня работоспособности (внимание, восприятие, моторика, память, мышление, волевые процессы) и, как следствие, выявить утомление. К данным тестам относятся: таблица Шульте, счет по Крепелину, тест Мюнстерберга, корректурная проба с кольцами Ландольта, реакция на движущийся объект, реакция на изменение цвета, тест «Отсчет времени».

Была описана инструкция по выполнению каждого из тестов, далее все они были компьютеризированы в единой программной среде «Fatigue Test», разработанной на объектно-ориентированном языке программирования C# в среде разработки Microsoft Visual Studio.

В качестве примеров представлены два оконных интерфейса программной среды на рисунках 1 и 2.

Рис. 1 – Главное окно программной среды «Fatigue Test»

Рис. 2 – Окно с указанием количества ошибок в тесте Мюнстерберга

На основе собственных тестирований и проведенного эксперимента с курсантами 2-5 курсов, обучающимися на факультете летной эксплуатации и управления воздушным

движением в Ульяновском институте гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева по специальности 25.05.05 «Эксплуатация воздушных судов и организация воздушного движения», был сформирован набор данных, который включал переменные, отмечающие итоги прохождения заданий в программной среде «Fatigue Test».

Таким образом, изначально набор данных состоял из 4185 наблюдений и 28 признаков, все полученные признаки отмечены в табл. 2.

Табл. 2 – Первоначальные признаки набора данных после тестирования в «Fatigue Test»

Переменная (признак)	Расшифровка признака
{Name}	Имя
{LastName}	Фамилия
{Age}	Возраст
{FatigueSelfInt}	Самочувствие
{TestDay}	Дата
{TestTimeBegin}	Время начала
{TestTimeEnd}	Время окончания
{TimeSecTableShulte}	Время Таблицы Шульте
{NotFoundTo40SecTableShulte}	Не найдено в таблице за 40 секунд
{MistakesTableShulte}	Ошибок в таблице Шульте
{MistakesKrepelin1}	Ошибки в счете по Крепелину 1 строка
{MistakesKrepelin2}	Ошибки в счете по Крепелину 2 строка
{MistakesKrepelin3}	Ошибки в счете по Крепелину 3 строка
{MistakesKrepelin4}	Ошибки в счете по Крепелину 4 строка
{MistakesMunsterberg}	Ошибки в тесте Мюнстерберга
{NotFoundMunsterberg}	Не найдено в тесте Мюнстерберга
{SpendTimeMunsterberg}	Потрачено времени в тесте Мюнстерберга
{MistakesLandolt}	Ошибки в кольцах Ландольта
{NotFoundLandolt}	Не найдено в кольцах Ландольта
{SpendTimeLandolt}	Времени потрачено в кольцах Ландольта
{MistakesRDO}	Ошибки в тесте на движущийся объект
{msecondsColorRound1}	Время на реакцию на изменение цвета 1
{msecondsColorRound2}	Время на реакцию на изменение цвета 2
{msecondsColorRound3}	Время на реакцию на изменение цвета 3
{msecondsColorRound4}	Время на реакцию на изменение цвета 4
{msecondsColorRound5}	Время на реакцию на изменение цвета 5
{MistakeColor}	Ошибки в тесте на реакцию на изменение цвета
{secondsMindCount}	Счет 15 секунд

В данной диссертационной работе был разработан и реализован алгоритм ступенчатой предобработки (препроцессинга) данных, который включал в себя процедуры по регуляризации, снижению мультиколлинеарности, стандартизации.

Группа признаков – {Name}, {LastName} и {TestDay} были исключены из входного вектора признаков, признак {spendTime} в программной среде задавался не сразу, но он был образован за счет признаков {TestTimeBegin} и {TestTimeEnd}, извлеченных из системы во время прохождения тестирования.

Для визуализации выбросов использовались возможности библиотеки Seaborn, с помощью которой были получены диаграммы размаха по ряду признаков («box plot»), анализ полученных значений указал на наличие выбросов в распределении полученных значений

(количество выбросов к общему числу строк составило около 13 %). В качестве идентификации выбросов для их дальнейшего удаления использовался межквартильный диапазон, часто обозначаемый как IQR:

$$IQR_{attr} = Q3_{attr} - Q1_{attr}, \quad (1)$$

где IQR_{attr} – межквартильный (интерквартильный) размах признака обучающей выборки по исследованию утомления;

$Q3_{attr}$ – третий квартиль (75-й процентиль) признака обучающей выборки по исследованию утомления;

$Q1_{attr}$ – первый квартиль (25-й процентиль) признака обучающей выборки по исследованию утомления.

На рис. 3 представлен алгоритм ступенчатой предобработки данных, подразумевающий ряд последовательных операций.

Корреляционный анализ позволил понять, какие признаки набора данных взаимосвязаны между собой, насколько сильна эта связь. Формула коэффициента корреляции Пирсона имеет следующий вид:

$$r = \frac{COV_{x1x2}}{S_{x1}S_{x2}} = \frac{\sum_{i=1}^n (X1_i - \bar{X1})(X2_i - \bar{X2})}{(n-1)S_{x1}S_{x2}} = \frac{\sum_{i=1}^n (X1_i - \bar{X1})(X2_i - \bar{X2})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X1_i - \bar{X1})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X2_i - \bar{X2})^2}}, \quad (2)$$

где r – коэффициент корреляции Пирсона для датафрейма обучающей выборки;

$X1_i$ – значения, принимаемые переменной первого признака обучающей выборки;

$X2_i$ – значения, принимаемые переменной второго признака обучающей выборки;

COV_{x1x2} – ковариация переменных $X1$ и $X2$;

S_{x1} – стандартное отклонение столбца первого признака;

S_{x2} – стандартное отклонение столбца второго признака;

n – количество наблюдений в датафрейме обучающей выборки;

$\bar{X1}$ – среднее арифметическое столбца первого признака;

$\bar{X2}$ – среднее арифметическое столбца второго признака.

У отдельных признаков некоторых тестов (таблица Шульте, счет по Крепелину, тест Мюнстерберга) наблюдалась высокая корреляция, коэффициент которой был выше 0,6 (в некоторых случаях выше 0,8). Часть признаков была удалена, заменена средним значением.

В работе было использовано Z-масштабирование, задаваемое следующей формулой:

$$Z_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_X}, \quad (3)$$

где Z_i – получаемая стандартизированная величина признака обучающей выборки;

X_i – значения, принимаемые переменной признака обучающей выборки;

S_X – стандартное отклонение столбца признака обучающей выборки;

$\bar{X}$ – среднее арифметическое столбца признака обучающей выборки.

В ходе препроцессинга входные данные были стандартизированы с помощью специальной библиотеки Scikit-Learn и метода StandardScaler.

После предварительной обработки был получен итоговый набор данных X размерностью 3633×15 (для обучения использовались 3633 наблюдений по 14 признакам), а переменная {FatigueSelfInt} (15-й признак) была выбрана в качестве целевого признака, поэтому в качестве отклика обучающей выборки определялся вектор $y = \{\text{FatigueSelfInt}\}$.

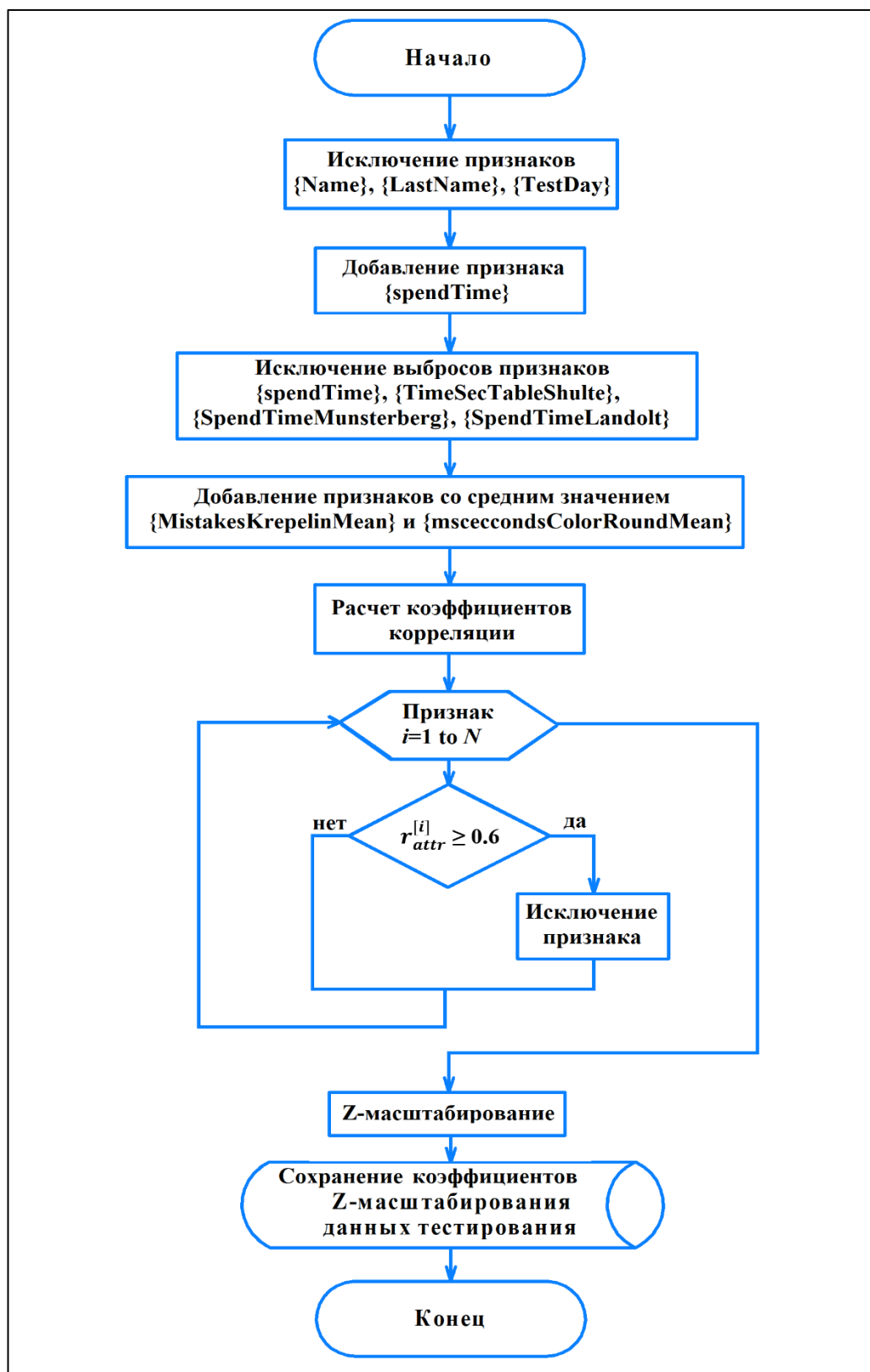


Рис. 3 – Алгоритм ступенчатой предобработки данных

В третьей главе производилась разработка нейросетевой модели прямого распространения с последующим ее обучением и оценкой для выявления утомления специалистов авиационного персонала. Среди достоинств нейронных сетей можно выделить их высокую точность и скорость работы, автоматизацию процессов, адаптивность, гибкость. Для выявления утомления рассматривались различные алгоритмы машинного обучения,

однако эмпирическим путем было установлено, что с помощью искусственной нейронной сети показатель точности выявления утомления наивысший.

Работы по предобработке и проектированию/обучению нейросети производились в среде разработки Jupyter Notebook с использованием высокоуровневого языка объектно-ориентированного программирования Python. В табл. 3 отмечены использованные библиотеки с кратким описанием их функций.

Табл. 3 – Краткое описание функций используемых библиотек в Jupyter Notebook

Название библиотеки	Функции
Keras	Построение модели нейросети
Matplotlib	Визуализация данных
NumPy	Численные вычисления, работа с массивами и матрицами
Pandas	Обработка и анализ данных
scikit-learn	Построение и оценка модели машинного обучения
Seaborn	Визуализация статистических данных
TensorFlow	Построение модели нейросети

Для загрузки данных из электронной таблицы была использована функция `read_excel` библиотеки `pandas`, далее с помощью функции `value_counts` и параметра `normalize=True` удалось определить относительные значения полученного набора данных. Для обучения нейросети и оценки эффективности создаваемой модели датасет был случайным образом разделен на два отдельных подмножества: тренировочный и тестовый наборы. Далее полученный `pandas` датафрейм было необходимо преобразовать в `numpy` матрицу для проектирования нейросети.

Для создания модели из библиотеки `keras` были импортированы методы задания слоев – `Sequential`, `Input` и `Dense`. Сначала создавалась модель вида `Sequential`, то есть последовательно, слой за слоем. Далее определялось количество узлов на входном слое (`Input`), количество скрытых слоев и выходной слой (`Dense`) с числом нейронов на каждом из них, функция `ReLU` (`Rectified Linear Unit`) использовалась в качестве функции активации для глубокого обучения на слоях. Далее модель компилировалась с заданной целевой функцией (с использованием перекрестной энтропии для бинарной классификации) и метрикой точности (`accuracy`), а в качестве алгоритма оптимизации использовался `Adam` – (`Adaptive moment estimation`).

Данная модель была необходима для решения задачи классификации, где на входной слой сети будут поступать оставшиеся после предобработки переменные (признаки), а на выходном слое будет расположен один нейрон, выступающий в роли бинарного классификатора и отвечающий за определение состояния испытуемого (1 – «утомлен», 0 – «не утомлен»).

В качестве способов регуляризации для избежания переобучения создаваемой нейронной сети использовались метод ранней остановки (`early stopping`) и метод прореживания (`dropout`). Метод `fit()` позволил реализовать обучение нейронной сети, определяя количество итераций обучения по всем входным данным, а также разбивая их на меньшие блоки, а файл `model.json` включал в себя данные о топологии сети и о конфигурации слоев созданной модели.

Для оценки качества созданной и обученной модели на тестовых данных (отложенной

выборке) использовался метод `evaluate()`, для создания прогноза от модели использовалась функция `predict()`. Для оценки эффективности использовались метрики: точность (accuracy), прецизионность (precision), полнота (recall) и оценка F_1 (F-мера).

$$accuracy_F = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}, \quad (4)$$

где TP – количество наблюдений, относящихся к классу «утомлен» и предсказанных как «утомлен»;

TN – количество наблюдений, относящихся к классу «не утомлен» и предсказанных как «не утомлен»;

FP – количество наблюдений, относящихся к классу «не утомлен», но предсказанных как «утомлен»;

FN – количество наблюдений, относящихся к классу «утомлен», но предсказанных как «не утомлен».

$$precision_F = \frac{TP}{TP+FP} \quad (5)$$

$$recall_F = \frac{TP}{TP+FN} \quad (6)$$

$$F_1 = 2 \times \frac{precision \times recall}{precision + recall} \quad (7)$$

Так как конфигурация нейросети способна повлиять на ее эффективность, также был произведен поиск оптимальной архитектуры, для этого были предложены три архитектуры (в качестве обозначения использовались i (input), d (dense), o (output)):

1. $i^{14}d^{30}o^1$ – входной слой (14 нейронов), скрытый слой (30 нейронов), выходной слой (1 нейрон).
2. $i^{14}d^{200}d^{100}d^{50}o^1$ – входной слой (14 нейронов), скрытый слой (200 нейронов), скрытый слой (100 нейронов), скрытый слой (50 нейронов), выходной слой (1 нейрон).
3. $i^{14}d^{200}d^{100}d^{50}d_{0.5}o^1$ – входной слой (14 нейронов), скрытый слой (200 нейронов), скрытый слой (100 нейронов), скрытый слой (50 нейронов), слой dropout, выходной слой (1 нейрон).

На рис. 4 представлена оптимальная архитектура типа $i^{14}d^{200}d^{100}d^{50}d_{0.5}o^1$.

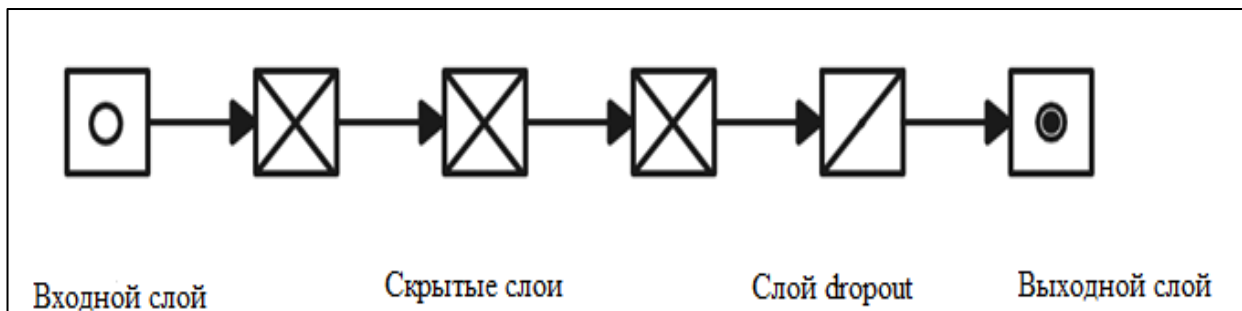


Рис. 4 – Архитектура типа $i^{14}d^{200}d^{100}d^{50}d_{0.5}o^1$

Данная архитектура была получена эмпирическим путем после анализа метрик в ходе изменения конфигурации сети и параметров `batch size` и `epochs`. Точность созданной модели составила 0.68, а F-мера, представляющая баланс между полнотой и прецизионностью, где относительные вклады обеих характеристик равны, составила 0.69, соответственно.

В четвертой главе была выполнена оценка эффективности разработанной нейросетевой модели выявления утомления специалистов авиационного персонала. Представлены результаты экспериментальных исследований с использованием метода многоканальной электроэнцефалографии (ЭЭГ) для оценки функционального состояния испытуемых, позволяющего оценить предложенный в диссертационной работе метод выявления утомления. Выполнена оценка надежности деятельности специалистов авиационного персонала при развитии утомления до и после интеграции нейросетевой модели в структуру управления БП.

Ввиду завершения формирования датасета и обучения спроектированной нейронной сети прямого распространения интерфейс некоторых окон был изменен, также был составлен алгоритм выявления утомления специалистов авиационного персонала на основе прохождения тестирования и оценки результатов обученной моделью нейронной сети прямого распространения. На рис. 5 представлен пример окна с выдачей решения нейронной сети.



Рис. 5 – Пример окна с выдачей результата тестирования (испытуемый утомлен)

Как правило, при ознакомлении с инструкцией к заданиям время тестирования составляет 6-7 минут, для выдачи решения о состоянии испытуемого требуется дополнительно около 5-7 секунд, однако данное время может быть сокращено, в зависимости от характеристик персонального компьютера или ноутбука, на котором производится тестирование.

На рис. 6 представлен алгоритм выявления утомления специалистов авиационного персонала в программе.

Повышение надежности деятельности специалистов авиационного персонала возможно за счет интеграции нейросетевой модели в структуру управления факторами риска, связанными с утомлением. Для этого была предложена соответствующая схема, представленная на рис. 7.

Адекватность такого подхода в качестве средства упреждения была оценена с помощью сравнения его с утвержденной и применяемой на практике медицинской методикой выявления утомления на основе проб ЭЭГ.

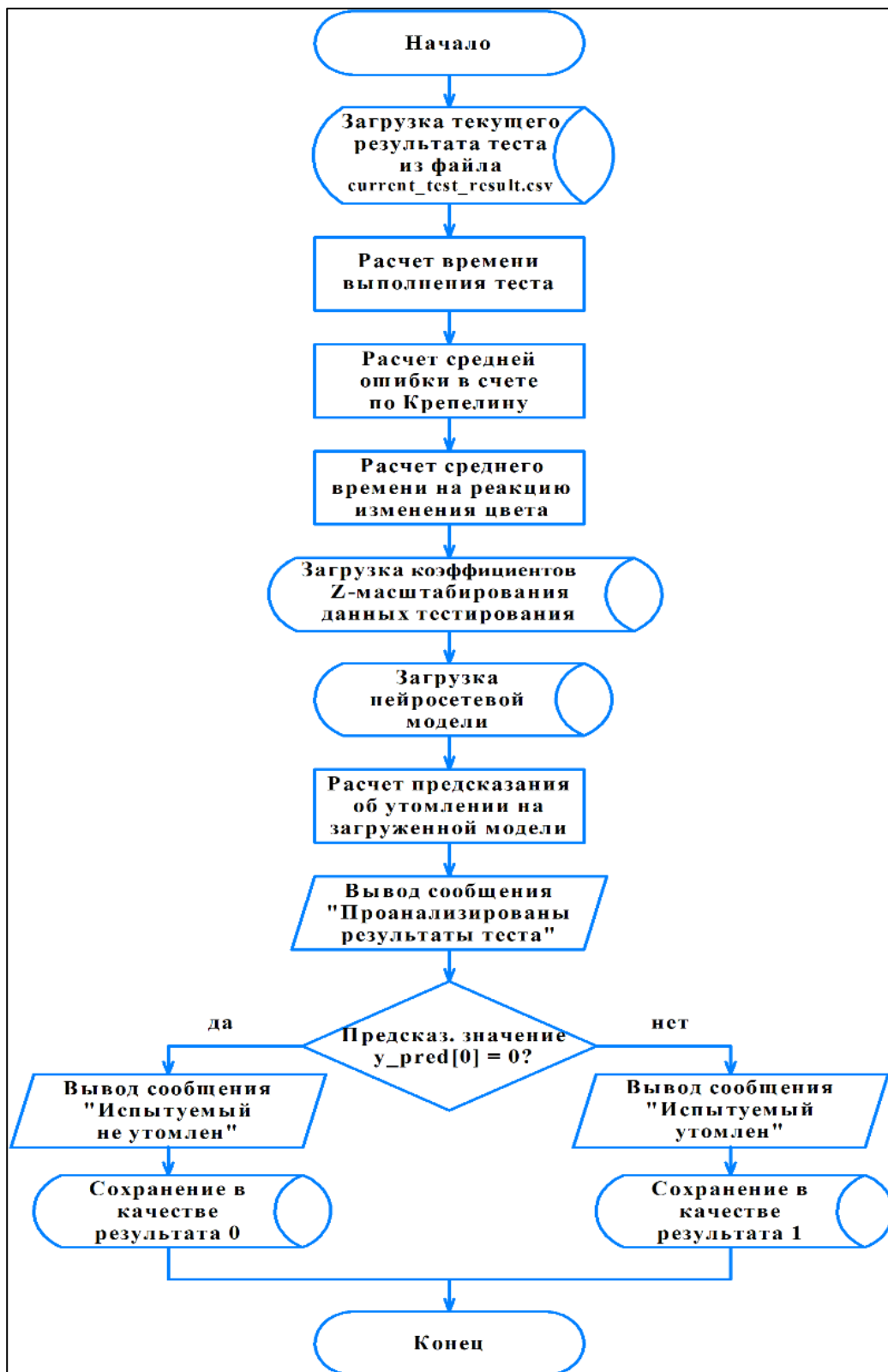


Рис. 6 – Алгоритм выявления утомления авиационного персонала

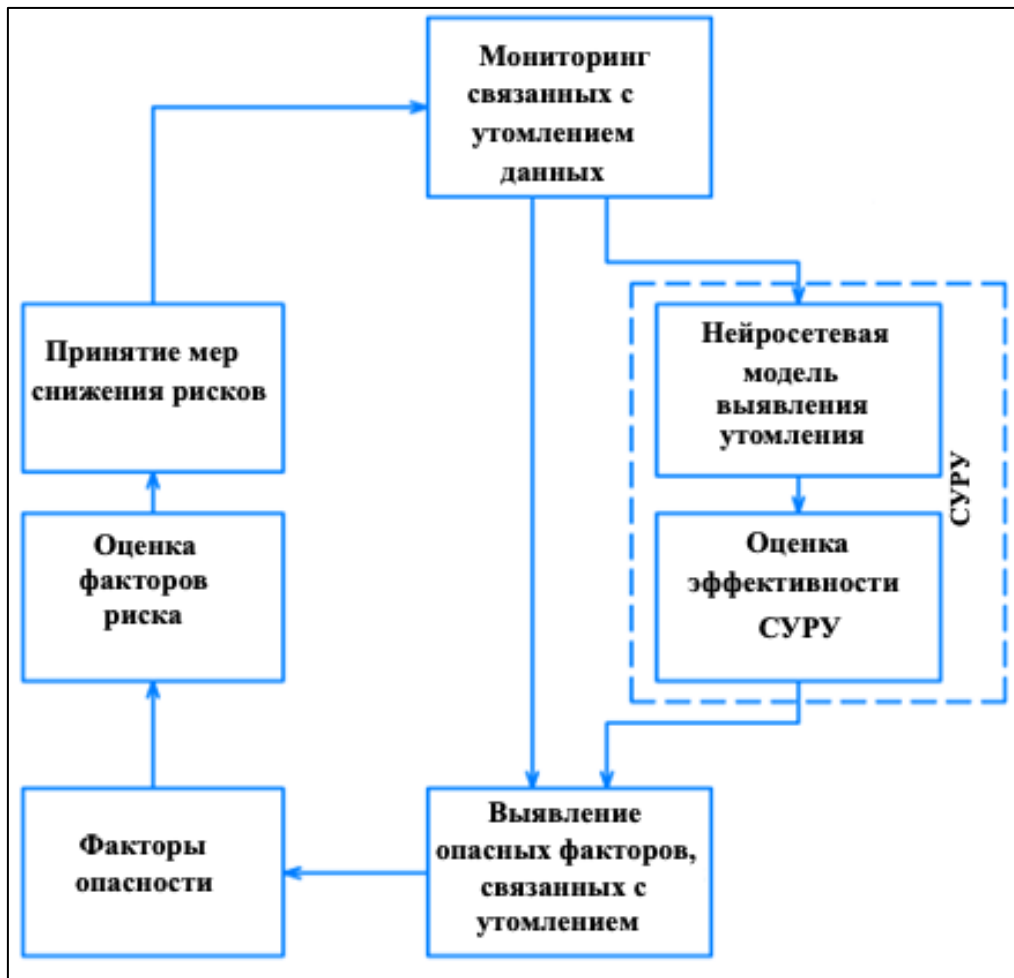


Рис. 7 – Схема интеграции нейросетевой модели выявления утомления в структуру управления факторами риска, мониторинг которых обеспечивает повышение надежности деятельности специалистов авиационного персонала

Установлено, что утомление может быть выявлено с помощью объективных методов и средств, включая пробы ЭЭГ. В серии экспериментов на базе аэродрома «Ульяновск (Баратаевка)» и УИ ГА приняли участие представители обоих полов (пилоты и диспетчеры УВД) без каких-либо психических или неврологических заболеваний, фоновая запись продолжалась в течение четырех минут, для анализа выбирались участки длительностью восемь секунд с наименьшим содержанием артефактов. Осуществлялся расчет спектров мощностей α -, β - и θ -ритмов, необходимых для получения значений индекса утомления, определяемого по следующей формуле:

$$I^F = \frac{\alpha + \theta}{\beta} \quad (8)$$

С учетом накопленного опыта зарубежных и российских ученых в качестве порогового значения, свидетельствующего о сформированном утомлении, был взят индекс утомления, равный четырем.

Индекс утомления высчитывался отдельно для всех каналов при условии закрытых глаз для обоих состояний – до и после когнитивной нагрузки. После проведения данного расчета индекс был усреднен по всем полученным областям мозга. В табл. 4 в качестве примера отображено сравнение полученных индексов утомления до и после нагрузки испытуемых и решений спроектированной нейронной сети прямого распространения с оптимальной

архитектурой после прохождения ими соответствующего тестирования (с учетом бинарной классификации «1 – утомлен, 0 – не утомлен»), где количество наблюдений (n) составило 40.

Табл. 4 – Индексы утомления и решения нейронной сети до и после нагрузки

Номер испытуемого	Индекс утомления	Результат решения методом анализа ЭЭГ	Решение нейронной сети
До нагрузки испытуемых			
1	7	1	0
2	5	1	0
3	3	0	0
4	3	0	0
5	6	1	1
6	5	1	0
7	2	0	0
8	7	1	1
9	4	1	1
10	4	1	1
После нагрузки испытуемых			
1	6	1	1
2	3	0	0
3	5	1	0
4	5	1	1
5	7	1	1
6	5	1	1
7	6	1	1
8	7	1	1
9	5	1	1
10	4	1	1

Дальнейший анализ показал значимое увеличение индекса утомления в состоянии закрытых глаз, как правило, из-за увеличения мощностей α - и θ -ритмов, так как в спектре β -ритма после нагрузки также отмечалось некоторое увеличение мощности.

Для анализа полученных качественных бинарных данных двух методов выявления утомления специалистов авиационного персонала – метода многоканальной электроэнцефалографии и метода с использованием спроектированной нейросетевой модели прямого распространения был выбран адаптированный статистический критерий хи-квадрат (критерий согласия Пирсона):

$$\chi_{\text{набл.}}^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(f_i - f'_i)^2}{f'_i}, \quad (9)$$

где f_i – эмпирическая частота (наблюдаемое количество верных или неверных решений об утомлении (истинных присвоений «1» для «1» или ложных присвоений «1» вместо «0» при использовании ЭЭГ-метода);

f'_i – теоретическая частота (наблюдаемое количество верных или неверных решений об утомлении (истинных присвоений «1» для «1» или ложных присвоений «1» вместо «0» при использовании нейросети);

m – количество разрядов рассматриваемых признаков.

После составления таблицы сопряженности и вычисления средней доли неверных решений об утомлении в объединенных группах при общем количестве наблюдений, равном

120, значение критерия $\chi^2_{\text{набл.}}$ составило 0,123. Произведя расчет количества степеней свободы, при уровне значимости $\alpha = 0,05$ было выбрано значение $\chi^2_{\text{кр.}}$ равное 3,841.

Так как выполнялось неравенство типа $0,123 < 3,841$ или $\chi^2_{\text{набл.}} < \chi^2_{\text{кр.}}$, то со степенью свободы $k = 1$ на уровне значимости $\alpha = 0,05$ нет оснований отвергать гипотезу H_0 о согласии частот. Таким образом, различие между эмпирическими и теоретическими частотами является незначимым и обусловленным случайными факторами, следовательно, можно считать, что результаты выявления утомления специалистов авиационного персонала сравниваемых методов (метода многоканальной электроэнцефалографии и с использованием спроектированной нейросетевой модели прямого распространения) отличаются незначительно.

На базе Ульяновского АДЦ ЕС ОрВД филиала «Аэронавигация Центральной Волги» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» была выполнена оценка надежности деятельности авиационного персонала при развитии утомления до и после интеграции нейросетевой модели в структуру управления БП. Старшими диспетчерами дежурных смен на протяжении нескольких циклов (два рабочих цикла без применения нейросетевой модели и два рабочих цикла с ее интеграцией) фиксировалось количество ошибок диспетчерского состава. Результаты приведены в табл. 5.

Табл. 5 – Количество ошибок диспетчеров УВД до и после интеграции нейросетевой модели

Диспетчер и тип пункта	До интеграции	После интеграции
Смена № 1		
Диспетчер СДП	8	6
Диспетчер ПДСР	5	5
Диспетчер ДПК	4	5
Диспетчер ДПП	5	4
Диспетчер ЦПИ	3	3
Смена № 2		
Диспетчер и тип пункта	До интеграции	После интеграции
Диспетчер СДП	10	8
Диспетчер ПДСР	6	5
Диспетчер ДПК	3	4
Диспетчер ДПП	6	6
Диспетчер ЦПИ	2	2

После интеграции нейросетевой модели руководящим составом дежурной смены применялись меры по сокращению рисков, связанных с утомлением:

- перераспределение рабочих мест (диспетчерских пунктов) между диспетчерами УВД;
- изменение порядка заступления на дежурство диспетчерами УВД;
- предоставление дополнительного отдыха в комнате психологической разгрузки на предприятии.

Показатель среднего количества ошибок на одного диспетчера до интеграции нейросетевой модели составил 5,2. После ее интеграции показатель был равен 4,8. Надежность деятельности специалистов авиационного персонала повысилась на 7,7 %. Следовательно, разработанный в рамках диссертационной работы метод позволяет выявлять утомление

специалистов авиационного персонала и принимать соответствующие меры для повышения надежности их деятельности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Утомление специалистов авиационного персонала является фактором опасности, влияющим на надежность их деятельности. Сравнительный анализ двух подходов контроля утомления позволил отметить преимущества концепции СУРУ, связанной с будущим развитием гражданской авиации в мире, включая Российскую Федерацию. Данная концепция признает, что необходима разработка новых научно-обоснованных и достоверных способов обнаружения утомления.

2. С учетом взаимосвязи между работоспособностью и утомлением был предложен и апробирован метод выявления утомления специалистов авиационного персонала, позволяющий обнаружить снижение работоспособности в результате прохождения тестирования с учетом базового набора симптоматических атрибутов (внимание, волевые процессы, восприятие, моторика, мышление, память).

3. Был разработан и реализован алгоритм ступенчатой предобработки данных, позволивший сформировать итоговый набор данных для обучения модели нейронной сети. Ступенчатая предобработка данных включала в себя процедуры по регуляризации, снижению мультиколлинеарности, стандартизации.

4. Была спроектирована нейросетевая модель с оптимальной архитектурой, содержащей один входной слой, три скрытых слоя, один выпадающий слой и один выходной слой, обеспечивающая точность выявления утомления специалистов авиационного персонала, равную 70 %, эффективность которой была подтверждена в ходе электроэнцефалографических исследований испытуемых.

5. Был разработан и реализован алгоритм выявления утомления специалистов авиационного персонала с учетом прохождения тестирования и оценки результатов в обученной модели нейронной сети прямого распространения.

6. Была предложена схема интеграции нейросетевой модели выявления утомления в структуру управления БП с учетом дальнейшего внедрения концепции СУРУ.

Ожидается, что в рамках распространения концепции СУРУ разработанный автором инструмент выявления утомления специалистов авиационного персонала может быть внедрен в предприятиях авиационной отрасли, включая филиалы ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» и авиакомпаний, что позволит повысить надежность их деятельности.

Полученные результаты позволяют решить поставленную в диссертационной работе научную задачу по разработке метода и алгоритмов выявления утомления специалистов авиационного персонала для повышения надежности их деятельности и соответствуют пункту 12 «Управление БП. Исследование влияния опасных факторов на БП. Структурный анализ и синтез иерархических и полиэргатических систем и анализ процессов в этих системах. Обеспечение БП при эксплуатации авиационной техники. Расследование авиационных происшествий и инцидентов» паспорта научной специальности 2.9.6 Аэронавигация и эксплуатация авиационной техники.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации (4)

1. Влияние различных типов информационных дисплеев на работоспособность авиационных специалистов в эргатических системах / **А. Е. Булатова**, Е. А. Бузаева, Д. А. Евсевичев // Научный Вестник МГТУ ГА. – № 2 (25). – Москва, 2022. – С. 30-40.
2. Оценка состояния утомления авиационного специалиста с применением метода дерева решений / **А. Е. Булатова**, Е. А. Бузаева, Д. А. Евсевичев // Научный вестник ГосНИИ ГА. – № 42. – Москва, 2023. – С. 49-58.
3. Оценка утомления авиационного специалиста по аудиоданным методом логистической регрессии / Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**, Д. А. Евсевичев // Вестник СПбГУ ГА. – № 4 (41). – Санкт-Петербург : СПбГУ ГА, 2023. – С. 25-39.
4. Проектирование нейронной сети для выявления состояния утомления специалистов авиационного персонала и оценка ее эффективности с помощью метода многоканальной электроэнцефалографии / **А. Е. Булатова** // Вестник СПбГУ ГА. – № 2 (43). – Санкт-Петербург : СПбГУ ГА, 2024. – С. 5-14.

Публикации в других изданиях (10)

5. Разработка программы проектирования симуляторов современных радиотехнических средств обеспечения полетов / **А. Е. Булатова**, Д. А. Евсевичев, О. В. Максимова, М. К. Самохвалов // Автоматизация процессов управления. – № 04 (62). – Ульяновск : ФНПЦ ОАО «НПО«МАРС», 2020. – С. 131-139. (Статья в журнале из перечня ВАК).
6. Методы оценки утомления авиационного специалиста / Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**, Д. А. Евсевичев // Молодежь и наука : материалы международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов (Нижний Тагил, 27 мая 2022 г.). В 2 томах. Том 2. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2022. – С. 43-45.
7. Зависимость работоспособности от различных типов информационных дисплеев на рабочем месте авиационного специалиста / **А. Е. Булатова**, Е. А. Бузаева, Д. А. Евсевичев // Молодежь и наука : материалы международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов (Нижний Тагил, 27 мая 2022 г.). В 2 томах. Том 2. – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2022. – С. 46-49.
8. Анализ утомляемости на основе теста «Корректирующая проба» / А. Е. Шабусова, П. О. Зацепина, **А. Е. Булатова**, Д. А. Евсевичев, М. К. Самохвалов // Информатика и вычислительная техника : сборник научных трудов XIV Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2022 (Ульяновск, 15-16 июня 2022 г.) / под общей ред. В.Н. Негоды. – Ульяновск : УлГТУ, 2022. – С. 291-294.
9. Определение усталости авиационного специалиста программой AirTest / **А. Е. Булатова**, Е. А. Бузаева, Д. А. Евсевичев, М. К. Самохвалов // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования (ИМАП-2022) : сборник научных трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых ИМАП-2022 (Ульяновск, 25-26 декабря 2022 г.) / под ред. Н.Н. Войта. – Ульяновск : УлГТУ, 2023. – С. 23-28.

10. Оценка состояния утомления авиационных специалистов с помощью метода дерева решений / **А. Е. Булатова** // Гражданская авиация: XXI век : сборник материалов XV Международной молодежной научной конференции (Ульяновск, 13-14 апреля 2023 г.). В 2 частях. Часть 2. – Ульяновск : УИ ГА, 2023. – С. 121-123.

11. Обнаружение состояния утомления у авиационных специалистов с помощью нейросетевых технологий / **А. Е. Булатова** // Состояние и основные тенденции развития гражданской авиации : сборник материалов Международной молодежной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 12-26 апреля 2023 г.). – СПб : СПбГУГА, 2023. – С. 474-477.

12. Выявление состояния утомления у авиационных специалистов с помощью нейросетевых технологий / **А. Е. Булатова**, Д. А. Евсевичев // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : сборник тезисов докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию отечественной гражданской авиации (Москва, 18-19 мая 2023 г.). – Москва : ИД Академии Жуковского, 2023. – С. 177-179.

13. Анализ утомления на основе тестов с применением машинного обучения / И. А. Муха, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**, Д. А. Евсевичев, М. К. Самохвалов // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : материалы 26-й Всероссийской молодежной научной конференции (Ульяновск, 24-26 октября 2023 г.). – Ульяновск : УлГТУ, 2023. – С. 75-77.

14. Использование алгоритмов машинного обучения в целях контроля состояния утомления авиационных специалистов / **А. Е. Булатова** // Современные тенденции использования воздушного пространства и перспективные системы обеспечения полетов: материалы V научно-практической конференции преподавателей, слушателей и студентов. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – С. 20-22.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ (11)

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023614982 «Программа кластерного анализа по тестированию» / Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**, Е. С. Алякина; Прав. Евсевичев Д.А. (РФ). Заявка № 2023613962; Заявл. 01.03.2023; Зарег. 09.03.2023. РОСПАТЕНТ.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023615365 «Программа классификации утомления по изображению» / Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**, Е. С. Алякина; Прав. Евсевичев Д. А. (РФ). Заявка № 2023614077; Заявл. 01.03.2023; Зарег. 14.03.2023. РОСПАТЕНТ.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617671 «Программа тестирования утомления» / Ю. С. Евсевичева, Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**; Прав. УлГТУ (РФ). Заявка № 2023615415; Заявл. 23.03.2023; Зарег. 12.04.2023. РОСПАТЕНТ.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663161 «Программа анализа аудиосигналов» / Ю. С. Евсевичева, Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**; Прав. УлГТУ (РФ). Заявка № 2023660418; Заявл. 25.05.2023; Зарег. 20.06.2023. РОСПАТЕНТ.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023664124 «Программа анализа утомления» / Ю. С. Евсевичева, Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**; Прав. УлГТУ (РФ). Заявка № 2023662398; Заявл. 15.06.2023; Зарег. 30.06.2023. РОСПАТЕНТ.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665736 «Программа байесовской классификации утомления» / Ю. С. Евсевичева, Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**; Прав. УлГТУ (РФ). Заявка № 2023664177; Заявл. 06.07.2023; Зарег. 19.07.2023. РОСПАТЕНТ.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667914 «Программа ансамблевой классификации утомления» / Ю. С. Евсевичева, Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**; Прав. УлГТУ (РФ). Заявка № 2023666693; Заявл. 10.08.2023; Зарег. 21.08.2023. РОСПАТЕНТ.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023680168 «Программа построения дерева решений для оценки утомления» / Ю. С. Евсевичева, Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**; Прав. УлГТУ (РФ). Заявка № 2023668845; Заявл. 14.09.2023; Зарег. 27.09.2023. РОСПАТЕНТ.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023680325 «Программа композиционной классификации утомления» / Ю. С. Евсевичева, Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**; Прав. УлГТУ (РФ). Заявка № 2023668848; Заявл. 14.09.2023; Зарег. 28.09.2023. РОСПАТЕНТ.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024660985 «Средство выявления утомления специалистов авиационного персонала для повышения надежности их деятельности» / **А. Е. Булатова**, Д. А. Евсевичев; Прав. ООО «Нейротека» (РФ). Заявка № 2024619550; Заявл. 02.05.2024; Зарег. 15.05.2024. РОСПАТЕНТ.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662136 «Программа оценки утомления по набору данных» / Ю. С. Евсевичева, Д. А. Евсевичев, Е. А. Бузаева, **А. Е. Булатова**; Прав. УлГТУ (РФ). Заявка № 2024661028; Заявл. 20.05.2024; Зарег. 23.05.2024. РОСПАТЕНТ.

Печатается в авторской редакции.

Подписано к печати 30.09.2024. Формат бумаги 60х90^{1/16}.

Тираж 100. Усл.печ.л. 1,5. С 182. Заказ 530

Тип. Университета ГА. 196210 Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д.38