

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

THEORETICAL BASIS OF THE USE OF NEURAL NETWORKS FOR DIAGNOSING DAMAGE TO AIRCRAFT EQUIPMENT IN THE FAR NORTH

A. Struchkova

Summary. This article provides a comprehensive analysis of the theoretical foundations for using artificial neural networks to diagnose aircraft damage in the Far North. Specific factors affecting aircraft damage during operation in Arctic conditions are examined. Adapted neural network architectures used to solve predictive maintenance problems in extreme climates are analyzed. Particular attention is paid to the problems of diagnosing corrosion damage, material degradation at low temperatures, and the specifics of data processing in communication-limited environments. The results of the study demonstrate the significant potential of neural network technologies for improving the safety and cost-effectiveness of aircraft operation in the Far North.

Keywords: neural networks, damage diagnosis, aircraft, Far North, Arctic conditions, predictive maintenance, low-temperature diagnostics, control automation.

Стручкова Анна Михайловна

Кандидат технических наук, доцент, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова;
АО Авиакомпания «Якутия», г. Якутск
annyakuts@mail.ru

Аннотация. В данной статье проводится комплексный анализ теоретических основ применения искусственных нейронных сетей для диагностирования повреждений авиационной техники в условиях Крайнего Севера. Рассмотрены специфические факторы эксплуатации в арктических условиях, влияющие на повреждаемость авиационной техники. Проанализированы адаптированные архитектуры нейронных сетей, применяемые для решения задач прогнозного технического обслуживания в экстремальных климатических условиях. Особое внимание уделено проблемам диагностики коррозионных повреждений, деградации материалов при низких температурах и особенностям обработки данных в условиях ограниченной связи. Результаты исследования демонстрируют значительный потенциал нейросетевых технологий для повышения безопасности и экономической эффективности эксплуатации авиационной техники в регионах Крайнего Севера.

Ключевые слова: нейронные сети, диагностика повреждений, авиационная техника, Крайний Север, арктические условия, прогнозное техническое обслуживание, низкотемпературная диагностика, автоматизация управления.

Введение

Современная авиационная техника характеризуется исключительной сложностью конструкций и высокими требованиями к надежности и безопасности. В условиях возрастающей интенсивности авиаперевозок и ужесточения нормативных требований традиционные подходы к техническому обслуживанию и диагностике достигают своих пределов эффективности.

Согласно проведенным исследованиям [1, 2], внедрение передовых цифровых технологий выступает критически важным условием для обеспечения конкурентоспособности отечественного авиастроения в контексте глобализации рынка. Это стимулирует развитие и внедрение интеллектуальных систем диагностики на основе искусственных нейронных сетей, способных обрабатывать огромные объемы данных и выявлять сложные, неочевидные закономерности.

Особую актуальность приобретает применение нейросетевых технологий для диагностики авиационной техники в условиях Крайнего Севера. АО «Авиакомпания

«Якутия» как один из крупнейших операторов в арктическом регионе сталкивается с уникальными вызовами, связанными с экстремально низкими температурами, ограниченной инфраструктурой технического обслуживания и особыми режимами эксплуатации [3].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки теоретического фундамента для создания эффективных систем диагностики повреждений авиационной техники на основе нейросетевых технологий, адаптированных к различным условиям эксплуатации. Специфические факторы арктической эксплуатации, такие как температурные колебания от -60°C до $+30^{\circ}\text{C}$, повышенная коррозионная активность из-за антиобледенительных реагентов, требуют особых подходов к диагностике и техническому обслуживанию.

Целью исследования является систематизация теоретических основ применения нейронных сетей для диагностирования повреждений авиационной техники и оценка перспективных направлений развития данного научного направления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Проанализировать биологические предпосылки создания искусственных нейронных сетей и их связь с задачами диагностики.
2. Классифицировать типы диагностических задач в авиационной технике, решаемые с применением нейросетевых технологий.
3. Исследовать архитектурные особенности нейронных сетей, применяемых для диагностирования повреждений.
4. Выявить ограничения и перспективы развития нейросетевых методов диагностики в авиации.

1. Теоретические основы нейросетевой диагностики повреждений авиационной техники

1.1. Биологические предпосылки искусственных нейронных сетей

Теоретические основы построения искусственных нейронных сетей берут начало в исследованиях биологической нервной системы. Человеческий мозг содержит примерно 15 миллиардов нейронов — специализированных клеток, способных обрабатывать и передавать информацию. Каждый нейрон состоит из тела клетки (сомы) и внешних древоподобных ветвей — аксона и дендритов, которые обеспечивают прием и передачу нервных импульсов [4]. С точки зрения диагностики повреждений, ключевой интерес представляет способность биологических нейронных сетей к распознаванию образов, обобщению и ассоциативному доступу к информации, а также устойчивости к частичным повреждениям.

Искусственные нейронные сети моделируют фундаментальные принципы работы биологических систем, хотя и в значительно упрощенной форме. Основной структурной единицей является искусственный нейрон, который, подобно биологическому прототипу, получает входные сигналы, осуществляет их взвешенное суммирование, и передает результат через функцию активации. Объединение таких нейронов в слоистые структуры позволяет создавать системы, способные решать сложные задачи диагностики, включая распознавание образов повреждений, прогнозирование остаточного ресурса и классификацию типов отказов.

1.2. Классификация диагностических задач в авиационной технике

Диагностические задачи в авиационной технике могут быть систематизированы по различным критериям, включая тип диагностируемого объекта, характер повреждений, временной горизонт прогнозирования и используемые данные. В контексте применения ней-

ронных сетей целесообразно классифицировать задачи по характеру решаемых проблем [5]:

1. Прогнозирование отказов и остаточного ресурса — задачи, связанные с предсказанием момента возникновения отказа или исчерпания ресурса деталей и узлов авиационной техники. Решение таких задач основано на анализе данных о текущем состоянии систем, исторических данных об отказах и условиях эксплуатации. Например, компания Lufthansa Technik внедрила системы прогнозирования технического обслуживания на базе искусственного интеллекта, которые анализируют данные от различных узлов самолета и прогнозируют требования к техническому обслуживанию.
2. Идентификация и классификация повреждений — задачи распознавания типа, местоположения и степени тяжести повреждений по данным датчика. Это может включать распознавание микротрещин в силовых элементах конструкций, повреждений лопаток турбин газотурбинных двигателей, идентификационные дефектов в электрических системах. Нейросети демонстрируют исключительную эффективность при обработке многомерных данных и выявлении сложных, нелинейных закономерностей.
3. Обработка данных датчиков и выделение признаков — задачи преобразования исходных сигналов от датчиков в информативные признаки, пригодные для дальнейшего анализа. Современные летательные аппараты оснащены тысячами датчиков, генерирующих огромные объемы данных [6].

Таблица 1. Классификация диагностических задач в авиационной технике

Тип задачи	Вход данные	Выходные данные	Примеры применения
Прогнозирование отказов	Данные вибрации, температура, нагрузка	Вероятность отказа, остаточный ресурс	Прогнозирование отказа подшипников двигателя
Идентификация повреждений	Изображения, акустические сигналы, данные вибрации	Тип, местоположение и степень повреждения	Обнаружение трещин в конструктивных элементах
Обработка данных датчиков	Исходные сигналы датчиков	Информативные признаки	Выделение признаков из вибросигнатуры двигателя
Принятие решений	Результаты диагностики, история обслуживания	Рекомендации по действиям	Формирование плана технического обслуживания

(Составлено автором).

4. Принятие решений по результатам диагностики — задачи формирования рекомендаций по дальнейшим действиям на основе результатов диагностики: продолжение эксплуатации, проведение технического обслуживания, немедленный ремонт или замена узлов.

1.3. Специфика диагностики повреждений авиационных конструкций в арктических условиях

Диагностика повреждений авиационных конструкций в условиях Крайнего Севера имеет существенную специфику. Низкие температуры оказывают комплексное влияние на материалы и конструкции: повышается хрупкость металлов, изменяются упругопластические характеристики полимерных материалов, возрастает риск образования усталостных трещин. В условиях АО «Авиакомпания «Якутия» дополнительным фактором является интенсивное использование противогололедных реагентов, которые вызывают ускоренную коррозию элементов планера и силовых установок.

Теоретической основой диагностики таких повреждений является понимание физики их возникновения и развития, учет термомеханических взаимодействий и разработка специализированных нейросетевых моделей, обученных на данных, характерных конкретно для арктической эксплуатации. Особое значение приобретает прогнозирование коррозионных повреждений, которое осложняется нелинейным характером коррозионных процессов при циклическом термонагружении.

Таблица 2.

Особенности повреждений авиационной техники в условиях Крайнего Севера

Тип повреждения	Особенности проявления в условиях Крайнего Севера	Влияние на диагностику
Коррозия конструкций	Ускоренное развитие за счет антиобледенительных реагентов, температурных циклов	Необходимость частого мониторинга, учет сезонных факторов
Усталостные трещины	Повышенная хрупкость материалов при низких температурах	Смещение характерных частот возникновения, изменение локализации
Деградация полимерных материалов	Потеря эластичности, растрескивание при низких температурах	Изменение диагностических признаков, необходимость специальных методов контроля
Обледенение систем	Интенсивное образование ледяных отложений на критических элементах	Требуется разработка специализированных методов диагностики в реальном времени

(Составлено автором).

Особенностью авиационной диагностики является также высокая цена ошибки. Несвоевременное обнаружение критических повреждений может привести к катастрофическим последствиям. В связи с этим, к нейросетевым системам диагностики предъявляются исключительно высокие требования по достоверности и надежности. Как отмечает доктор технических наук, профессор кафедры «вычислительная математика и программирование» Владимир Судаков, «в авиации, как известно, цена ошибки велика. Но у нас ошибаются все: и люди, и искусственный интеллект. Единственное отличие искусственного интеллекта от человека в том, что, если человек сделал какое-то неправильное действие, он сможет объяснить свой поступок. Если мы говорим про нейросеть, то она выдает результат, но сама объяснить его не может» [7].

2. Материалы и методы исследования

2.1. Источники данных для обучения нейросетевых моделей в условиях Крайнего Севера

Для обучения нейросетевых моделей диагностики в условиях Крайнего Севера необходимо использовать специализированные источники данных, учитывающие арктическую специфику:

1. Данные бортовых систем сбора с адаптацией к низким температурам — показания датчиков, откалиброванных для работы в диапазоне экстремально низких температур.
2. Результаты специализированных видов неразрушающего контроля — данные ультразвуковой дефектоскопии с поправкой на температурную зависимость скорости звука, термографические исследования с учетом низких фоновых температур.
3. Климатические и метеорологические данные — информация о температурных режимах, влажности, скорости ветра, которые оказывают существенное влияние на процессы повреждения в условиях Крайнего Севера.
4. Базы данных отказов и повреждений, характерных для арктической эксплуатации — систематизированная информация об отказах, произошедших в условиях Крайнего Севера, с привязкой к климатическим параметрам.

Особенностью подготовки данных для обучения нейросетевых моделей в условиях Крайнего Севера является необходимость учета сезонных колебаний параметров и разработки компенсационных алгоритмов для исключения влияния температурных датчиков.

2.2. Архитектуры нейронных сетей для диагностики повреждений

Выбор архитектуры нейронной сети определяется характером решаемой диагностической задачи и типом

входных данных. В диагностике повреждений авиационной техники наиболее широкое применение находят следующие архитектуры:

1. Сверточные нейронные сети (CNN) — наиболее эффективны для обработки изображений и пространственных данных. В авиационной диагностике применяются для анализа данных термографии, визуального контроля, рентгенографии, а также для спектрограмм вибрационных сигналов. Сверточные сети способны автоматически выделять иерархические признаки из исходных данных, что делает их особенно ценными для задач классификации видов повреждений.
2. Рекуррентные нейронные сети (RNN), в частности LSTM (Long Short-Term Memory) — предназначены для обработки последовательных данных и временных рядов. В авиационной диагностике применяются для анализа вибрационных сигналов, данных телеметрии, параметров работы двигателей и других систем, изменяющихся во времени. LSTM-сети способны улавливать долговременные зависимости во временных рядах, что важно для прогнозирования остаточного ресурса.
3. Автокодировщики (Autoencoders) — используются для сокращения размерности данных, выделения признаков и обнаружения аномалий. В авиационной диагностике применяются для выявления нештатных режимов работы систем, которые могут свидетельствовать о начинающихся повреждениях.
4. Гибридные архитектуры — комбинации различных типов нейронных сетей для решения сложных диагностических задач. Например, комбинация сверточных и рекуррентных сетей позволяет одновременно анализировать пространственные и временные характеристики данных.

Для условий Крайнего Севера целесообразно применение специализированные архитектуры нейронных сетей:

1. Температурно-адаптивные сверточные сети — модифицированные CNN с учетом температурной зависимости диагностических параметров.
2. Гибридные LSTM-автокодировщики — для анализа временных рядов с компенсацией температурных датчиков.
3. Мультимодальные нейросетевые архитектуры — объединяющие данные от разнородных источников с различной температурной чувствительностью.

2.3. Методы обучения нейросетевых моделей

Для обучения нейросетевых моделей диагностики повреждений авиационной техники применяются различные методы машинного обучения [8]:

Таблица 3.

Архитектуры нейронных сетей для диагностики повреждений авиационной техники

Архитектура	Преимущества	Ограничения	Области применения в авиационной диагностике
Сверточные нейронные сети (CNN)	Высокая эффективность при обработке изображений, способность к автоматическому выделению признаков	Требуют больших размеченных наборов данных	Анализ изображений дефектов, обработка данных неразрушающего контроля
Рекуррентные нейронные сети (LSTM)	Способность анализировать временные зависимости, обработка последовательностей произвольной длины	Сложность обучения, высокая вычислительная стоимость	Прогнозирование остаточного ресурса, анализ вибрационных сигналов
Автокодировщики	Эффективное выделение признаков, обнаружение аномалий	Ограниченная интерпретируемость результатов	Обнаружение нештатных режимов работы, сокращение размерности данных
Гибридные архитектуры	Гибкость, возможность решения комплексных задач	Высокая сложность проектирования и настройки	Комплексная диагностика сложных систем

(Составлено автором)

1. Обучение с учителем (Supervised Learning) — применяется, когда доступны размеченные данные, содержащие примеры повреждений и соответствующие им метки. Методы включают обратное распространение ошибки, стохастический градиентный спуск, адаптивные методы оптимизации (Adam, RMSprop). Обучение с учителем эффективно для задач классификации и регрессии, но требует значительных затрат на разметку данных.
2. Обучение без учителя (Unsupervised Learning) — применяется, когда метки повреждений отсутствуют. Методы включают кластеризацию, анализ главных компонент, самоорганизующиеся карты. Обучение без учителя эффективно для обнаружения аномалий и выделения признаков.
3. Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning) — применяется для задач принятия решений по результатам диагностики. Как отмечает профессор Судаков, эта технология имеет прямую аналогию с обучением ребенка, который учится ходить: «Делая первые шаги в жизни, ребенок

не имеет никакого ранее полученного опыта, он не имеет представления о физике процесса. Природа заставляет действовать его по принципу: «Не важно, что ты делаешь, пробуй как угодно, но достигни цели». В диагностике авиационной техники обучение с подкреплением может применяться для оптимизации стратегий технического обслуживания.

4. Трансферное обучение (Transfer Learning) — применяется, когда доступны ограниченные данные о конкретных типах повреждений. Метод предполагает использование предварительно обученных моделей на больших наборах данных с последующей достройкой на целевом наборе данных. Трансферное обучение особенно эффективно для обработки изображений, где используются модели, предварительно обученные на больших наборах данных (например, ImageNet).

Важным аспектом обучения нейросетевых моделей для авиационной диагностики является обеспечение их устойчивости к шумам в данных и способности к обобщению на различные условия эксплуатации.

3. Результаты исследования и их обсуждение

3.1. Нейросетевые системы прогнозного технического обслуживания

Разработанные на основе нейросетевых технологий системы прогнозного технического обслуживания (Predictive Maintenance) демонстрируют высокую эффективность в авиационной отрасли. Как отмечается в исследованиях, такие системы позволяют заблаговременно выявлять потенциальные отказы и оптимизировать графики технического обслуживания, что приводит к значительному повышению экономической эффективности эксплуатации авиационной техники [9].

Особенностью современных нейросетевых систем прогнозного технического обслуживания является их способность анализировать комплексные многопараметрические зависимости в данных, что недоступно для традиционных статистических методов. Глубокие нейронные сети способны выявлять сложные, нелинейные взаимосвязи между различными параметрами работы систем и вероятностью возникновения отказов, что значительно повышает точность прогнозов [10].

Экономический эффект от внедрения таких систем складывается из сокращения времени простоя воздушных судов, уменьшения количества внеплановых ремонтов, оптимизации запасов запасных частей и повышения общей надежности авиационной техники. По данным аналитиков, использование технологий Big Data и нейросетевых моделей позволяет авиакомпаниям значительно снизить эксплуатационные расходы.

3.2. Нейросетевые методы идентификации структурных повреждений

Применение нейронных сетей для идентификации структурных повреждений авиационных конструкций показывает впечатляющие результаты в части точности и скорости диагностики. Исследования [5] в области гиперзвуковой аэродинамики демонстрируют возможность использования нейросетей для расчета аэродинамических характеристик высокоскоростных летательных аппаратов, что имеет важное значение для оценки влияния повреждений на летные характеристики.

Важным достижением последних лет является разработка нейросетевых методов, способных работать в условиях ограниченных размеченных данных — одной из основных проблем в авиационной диагностике, связанной с редкостью критических повреждений. Для решения этой проблемы применяются методы машинного обучения с небольшим количеством примеров (few-shot learning), а также генеративно-состязательные сети (GAN) для синтеза искусственных данных о повреждениях.

3.3. Специфика нейросетевой диагностики в условиях Крайнего Севера

Исследование проводилось на базе АО «Авиакомпания «Якутия», эксплуатирующих воздушные суда (ВС) в условиях Крайнего Севера и Арктики (Республика Саха (Якутия)). Основные данные получены в ходе мониторинга технического состояния авионики самолетов Ан-24 и других моделей, используемых в экстремальных климатических условиях [12, 13].

Эксплуатация авиационной техники в условиях Крайнего Севера предъявляет особые требования к системам диагностики. АО «Авиакомпания «Якутия», осуществляющая полеты в арктических регионах с экстремально низкими температурами, сталкивается с уникальными проблемами диагностики [3], которые могут быть эффективно решены с применением специализированных нейросетевых подходов.

Текущая система технического обслуживания и ремонта воздушных судов регламентирована утвержденной эксплуатационно-технической документацией, которая включает [2]:

- типовые технологии ремонта;
- регламенты технического обслуживания;
- нормативные требования разработчика ВС;
- стандарты Авиационной администрации.

В процессе интенсивной эксплуатации могут возникать стохастические конструктивные изменения в элементах воздушных судов. Случайный характер данных

деформаций не позволяет предусмотреть их формализации в рамках типовых ремонтных технологий.

Особенности повреждений в арктических условиях:

1. Температурно-зависимая деградация материалов — при температурах ниже -40°C наблюдается значительное изменение механических характеристик алюминиевых сплавов и композитных материалов, используемых в авиастроении. Нейросетевые модели для таких условий должны быть обучены на данных, учитывающих температурную зависимость параметров прочности и усталости.
2. Коррозия от антиобледенительных реагентов — интенсивное использование химических реагентов для борьбы с обледенением приводит к ускоренной коррозии элементов планера и шасси. Нейросетевые системы диагностики позволяют прогнозировать развитие коррозионных процессов с учетом концентрации реагентов и температурных режимов.
3. Обледенение датчиков и измерительных систем — в условиях Крайнего Севера возникает проблема обледенения измерительных датчиков, что приводит к искажению данных.

Поэтому для условий эксплуатации АО «Авиакомпания «Якутия» необходимы специализированные архитектуры нейронных сетей:

1. Температурно-адаптивные нейросетевые модели — архитектуры, которые динамически настраивают свои параметры в зависимости от текущих температурных условий. Это позволяет повысить точность диагностики при значительных колебаниях температур.
2. Мультимодальные сети для обработки гетерогенных данных — объединяют информацию от различных источников: бортовых датчиков, данных метеостанций, результатов визуального осмотра, что особенно важно в условиях ограниченной достоверности отдельных измерительных каналов.
3. Нейросетевые системы прогнозирования обледенения — специализированные архитектуры, прогнозирующие вероятность и интенсивность обледенения критических элементов конструкции метеоданных и параметров полета.

Внедрение нейросетевых систем диагностики в условиях Крайнего Севера связано с рядом практических проблем:

1. Ограниченная связь в удаленных регионах — многие аэропорты в арктической зоне имеют ограниченный канал связи, что затрудняет передачу больших объемов данных для централизованной обработки.
2. Дефицит квалифицированного персонала — в удаленных регионах Крайнего Севера огра-

ничено количество специалистов, способных интерпретировать результаты нейросетевой диагностики.

3. Сезонные колебания параметров — значительные сезонные изменения климатических условий требуют разработки нейросетевых моделей с адаптацией к сезонным факторам.

3.4. Объяснимость и доверие к нейросетевым системам диагностики

Одной из ключевых проблем внедрения нейросетевых систем диагностики в авиацию является недостаточная объяснимость их решений. Как отмечает профессор Судаков, «если человек сделал какое-то неправильное действие, он сможет объяснить свой поступок. Если мы говорим про нейросеть, то она выдает результат, но сама объяснить его не может». В авиации, где цена ошибки чрезвычайно высока, это ограничение становится серьезным барьером для широкого внедрения нейросетевых технологий.

Для решения этой проблемы разрабатываются методы объяснимого искусственного интеллекта (XAI — eXplainable Artificial Intelligence), которые позволяют интерпретировать решения, принимаемые нейросетевыми моделями. Как отмечается в исследованиях [7], «сейчас ситуация меняется, появляются объяснимые нейросети, когда мы можем отмотать назад и найти причины результата». Среди этих методов можно выделить:

1. LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) — метод, который позволяет объяснить поведение сложной нейросети локально линейной моделью, понятной для человека.
2. SHAP (SHapley Additive exPlanations) — метод, основанный на теории игр, который оценивает вклад каждого признака в итоговое решение модели.
3. Внимание-визуализации — позволяют понять, на какие части входных данных нейросеть «обращает внимание» при принятии решения.
4. Создание изначально интерпретируемых моделей — разработка специализированных архитектур нейронных сетей, которые сохраняют способность к сложным вычислениям, но при этом обеспечивают прозрачность принимаемых решений.

Развитие методов объяснимого ИИ позволит преодолеть барьер недоверия к нейросетевым системам и расширить область их применения в авиационной диагностике.

Дополнительным аспектом проблемы доверия является необходимость сертификации нейросетевых систем диагностики для использования в авиации. Существу-

ющие процедуры сертификации авиационной техники основаны на традиционных подходах к верификации и валидации систем, которые плохо применимы к нейросетям с их способностью к самообучению и изменению поведения в процессе эксплуатации. Разработка новых методов сертификации, учитывающих специфику нейросетевых технологий, является важным направлением дальнейших исследований.

Заключение

Проведенное исследование теоретических основ применения нейросетей для диагностирования повреждений авиационной техники позволило сформулировать следующие основные выводы:

1. Нейросетевые технологии обладают значительным потенциалом для повышения эффективности диагностики повреждений авиационной техники за счет способности анализировать большие объемы данных, выявлять сложные нелинейные зависимости и адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации.
2. Биологические принципы организации нервной системы человека являются теоретическим фундаментом для разработки искусственных нейронных сетей, способных решать сложные задачи диа-

гностики аналогично тому, как человеческий мозг решает задачи распознавания образов и принятия решений в условиях неполной информации.

3. Эксплуатация авиационной техники в арктических условиях характеризуется специфическими факторами повреждения, требующими разработки специализированных нейросетевых архитектур, учитывающих температурную зависимость механических свойств материалов, интенсивность коррозионных процессов и особенности обледенения.
4. Ключевой проблемой широкого внедрения нейросетевых систем диагностики в авиацию является недостаточная объяснимость принимаемых ими решений. Активное развитие методов объяснимого искусственного интеллекта позволяет постепенно преодолевать этот барьер.
5. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: разработка нейросетевых моделей для прогнозирования остаточного ресурса авиационной техники, создание методов обучения с небольшим количеством размеченных данных, интеграция нейросетевых систем с цифровыми двойниками летательных аппаратов, разработка стандартов и процедур сертификации нейросетевых систем диагностики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Саввина А.М. Повышение уровня эксплуатационной технологичности самолетов в условиях АО «Авиакомпания «Якутия» // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте. В 2-х томах. Озел, 2021. С. 437–447. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47900849> (дата обращения: 25.03.2025).
2. Саввина А.М. Управление процессами восстановления авиационной техники с использованием системы автоматизированного проектирования в условиях авиаремонтного предприятия. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2016. 22 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30431482>.
3. Горбунов В.П., Рухлинский В.М., Саввина А.М. Роль природных и антропогенных факторов в современном состоянии региональной авиации Арктики и Крайнего Севера // Журнал «Наука и бизнес: Пути развития». №6(108). 2020. С.32–37. URL: [http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/108/sb-6\(108\)-2020-main.pdf](http://globaljournals.ru/assets/files/journals/science-and-business/108/sb-6(108)-2020-main.pdf) (дата обращения 23.08.2025)
4. Первая медицинская помощь. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994.
5. Хлопков Ю.И. Применение искусственных нейронных сетей в гиперзвуковой аэродинамике // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. №4–1. С.45–49. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=6581> (дата обращения: 07.10.2025).
6. Руководство по технической эксплуатации RRJ-95 (8-е изд.) — М.: ПАО «Яковлев». 2025.
7. Судаков В. Искусственный интеллект в авиации: настоящее и будущее нейросетей // Сетевое издание Techinsider: сайт. URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/1651425-kak-iskusstvennyi-intellekt-uchitsya-letat-nastoyashchee-i-budushchee-neirosetei-v-aviacii/> (дата обращения: 07.10.2025).
8. Три метода обучения нейросетей: с учителем, без учителя, с подкреплением // сервиса «Яндекс.Практикум»: сайт. URL: <https://practicum.yandex.ru/blog/mashinnoe-obuchenie-s-uchitelem-i-bez/> (дата обращения: 07.10.2025).
9. Гавриков М. Как нейросети и аналитика данных делают авиаперелеты комфортными // Медиа Хайтек: сайт. URL: <https://hightech.fm/2024/09/04/data-avia-comfort> (дата обращения: 07.10.2025).
10. Настоящее и будущее нейросетей в авиации // Masterok. 2024. URL: <https://masterok.livejournal.com/10987522.html> (дата обращения: 07.07.2025).
11. Стручкова А.М. Оптимальное проектирование и управление восстановлением работоспособности самолета в условиях крайнего севера // Современные наукоемкие технологии. 2025. № 10. с. 89–95. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=40532> (дата обращения: 01.11.2025).
12. Gorbunov V., Kuznetsov S., Savvina A., Poleshkina I. Methodological aspects of avionics reliability at low temperatures during aircraft operation in the Far North and the Arctic // Transportation Research Procedia Vol. 57. 2021. p. 220–229. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47516602>. DOI: 10.1016/j.tpro.2021.09.045.
13. Саввина А.М. Предложение по модернизации бортовой системы технического обслуживания самолета SSJ 100 // Международный информационно-аналитический журнал «Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык». № 3 (22). Сентябрь 2019. URL: <http://if-mstuca.ru/CE/index.php/050000/rpmbosssj100>