

**Крист Валерий Георгиевич,**

кандидат военных наук, доцент филиала ВУНЦ ВВС «ВВА» г. Челябинск

**Мороз Игорь Олегович,** Старший преподаватель филиала ВУНЦ ВВС

«ВВА» г. Челябинск

**Галикеев Артур Данисович,** студент филиала филиала ВУНЦ ВВС «ВВА»

г. Челябинск

## **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ И РАДИОТЕХНИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СОВРЕМЕННЫХ АЭРОДРОМОВ**

Современные аэродромы являются высокотехнологичными объектами, требующими надежных систем связи и радиотехнического обеспечения полетов (РТОП). В последние годы наблюдается активная интеграция цифровых технологий и элементов искусственного интеллекта (ИИ) в инфраструктуру аэродромов, что позволяет значительно повысить безопасность, эффективность и автономность авиационной деятельности. В статье рассмотрены ключевые направления внедрения ИИ и цифровых решений в аэродромные системы связи и РТОП, приведены примеры современных разработок и анализируются перспективы их развития.

### **Введение**

Аэродромные комплексы играют ключевую роль в обеспечении взлетно-посадочных операций, управления воздушным движением и безопасности полетов. На фоне глобальной цифровизации авиационной отрасли происходит трансформация традиционных систем связи и радиотехнических средств (РТС) аэродромов. Особое внимание уделяется внедрению искусственного интеллекта, машинного обучения, облачных технологий и автоматизированных систем анализа данных.

## 1. Цифровизация аэродромных систем связи

Цифровые технологии позволяют осуществлять передачу и обработку информации в реальном времени, обеспечивая высокую надежность и устойчивость каналов связи. Основные направления цифровизации:

- Переход на IP-технологии связи: замена аналоговых каналов цифровыми с использованием VoIP, IP-радиосвязи и защищённых цифровых сетей (VoIP АТС).

Причины перехода на IP-технологии

- Улучшение качества связи: Цифровая передача голосовых и данных сигналов обеспечивает лучшую устойчивость к помехам и шумам по сравнению с аналоговыми каналами.

- Гибкость и масштабируемость: IP-сети позволяют легко расширять систему связи, подключая новые устройства без значительных затрат на оборудование.

- Интеграция с ИТ-инфраструктурой: Возможность взаимодействия с другими цифровыми системами аэродрома, такими как автоматизированные системы управления воздушным движением (АСУВД), системы мониторинга и управления.

- Снижение затрат на эксплуатацию и обслуживание: Единая сеть для передачи голосовых, видео- и данных снижает расходы на содержание различных специализированных сетей.

VoIP-технологии в авиационной связи

VoIP (Voice over IP) — технология передачи голосового сигнала через IP-сети. В авиационных системах VoIP применяется для радиосвязи диспетчеров с летчиками и внутрислужебного общения.

- Особенности VoIP АТС (Air Traffic Control):

- Поддержка низкой задержки и высокой надежности передачи голоса.
- Возможность интеграции с традиционными радиостанциями через шлюзы.
- Распределенная архитектура, позволяющая обеспечивать отказоустойчивость.
- Использование протоколов качества обслуживания (QoS) для приоритизации голосового трафика.

### IP-радиосвязь

IP-радиосвязь — это система радиосвязи, где управление и передача голосовых сигналов осуществляется через IP-сети, включая локальные и глобальные.

- Обеспечивает многоуровневую маршрутизацию и централизованное управление радиоустройствами.
- Позволяет создавать гибкие сети, охватывающие территорию всего аэродрома и прилегающих зон.
- Применяется в программно-конфигурируемых радиостанциях (SDR), обеспечивающих быструю перепрограммируемость и адаптацию к меняющимся условиям.

### Защищённые цифровые сети

Кибербезопасность критична для авиационных систем. Для защиты IP-сетей связи применяются:

- Шифрование голосового и данных трафика (например, с помощью TLS, IPsec, SRTP).

- Аутентификация пользователей и устройств для предотвращения несанкционированного доступа.

- Системы обнаружения и предотвращения вторжений (IDS/IPS).

- Использование сегментации сети и VPN-технологий для изоляции критически важных подсистем.

### **Интеграция с автоматизированными системами управления воздушным движением (СУВД).**

Реализуется через такие технологии, как CPDLC (Controller–Pilot Data Link Communications), ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast) и SWIM (System Wide Information Management).

Эти системы обеспечивают более тесную координацию, повышают точность управления и снижают нагрузку на персонал.

### **Некоторые функции АСУ:**

- автоматизация навигации и управления полётом;
- расчёт и оптимизация маршрутов;
- контроль параметров безопасности;
- прогнозирование и предотвращение конфликтов в воздушном пространстве;
- обмен информацией между пилотами, диспетчерами и наземными службами.

### **Использование программно-конфигурируемых радиосистем (SDR).**

Цифровая инфраструктура обеспечивает быструю масштабируемость, совместимость с другими системами и возможность интеграции ИИ-модулей.

**SDR (Software-defined radio)** — программно определяемая радиосистема, в которой ключевые функции обработки сигнала реализованы с помощью

перенастраиваемого программного обеспечения, а не жёстко заданы аппаратно.

### **Некоторые особенности SDR:**

- **Гибкость и многозадачность.** Одна и та же платформа может выполнять функции спектроанализатора, векторного анализатора цепей, радара или GNSS-приёмника — достаточно перепрограммировать FPGA.
- **Поддержка открытых инструментов.** Совместимость с такими средами, как GNU Radio, ускоряет разработку, тестирование и моделирование.
- **Широкий диапазон частот и полос пропускания.** Независимые Rx/Tx-каналы можно настраивать на любые частоты в пределах поддерживаемого диапазона.
- **Масштабируемость.** Количество каналов и конфигурация системы легко адаптируются под требования конкретного применения.
- **Интероперабельность.** SDR легко интегрируется с устаревшими и современными системами.

## 2. Искусственный интеллект в радиотехническом обеспечении полетов

ИИ находит широкое применение в РТОП благодаря возможности обрабатывать большие объемы информации и выявлять аномалии в данных.

Основные применения:

### 2.1. Обработка радиолокационной информации

• ИИ-алгоритмы применяются для фильтрации шумов, повышения точности радиолокационного позиционирования, прогнозирования траекторий. Они основаны на технологии нейронных сетей и позволяют решать задачи,

которые ранее были недоступны для традиционных радиолокационных систем

- Используются нейросетевые методы в автоматизированных радиолокационных станциях (АРЛС) Это позволяет повысить качество обработки в сложных условиях, когда классические методы оказываются недостаточно эффективны. [1].

## 2.2. Мониторинг и диагностика РТС

- Машинное обучение позволяет проводить предиктивную диагностику технического состояния РТС, снижая вероятность отказов [2]. Такие алгоритмы анализируют исторические и текущие данные, выявляют скрытые закономерности и предсказывают возможные отказы оборудования, что существенно снижает вероятность сбоев и увеличивает надёжность системы. [2].

- Автоматизированные системы мониторинга (например, на базе IoT) анализируют параметры сигналов и состояния оборудования в реальном времени. Датчики фиксируют отклонения от нормальных режимов работы, а встроенные алгоритмы обработки данных позволяют оперативно реагировать на возникающие неисправности или тенденции их развития.

## 2.3. Интеллектуальные системы посадки

Интеллектуальные технологии активно внедряются в современные авиационные системы посадки, повышая их точность, надёжность и адаптивность к внешним условиям.

- Искусственный интеллект (ИИ) применяется в системах точного захода на посадку, таких как ILS (Instrument Landing System) и GBAS (Ground-Based Augmentation System). Алгоритмы машинного обучения используются для:

- Прогнозирования метеоусловий в районе аэродрома с учётом локальных изменений, что позволяет заранее скорректировать параметры захода;
- Корректировки навигационных сигналов в условиях внешних помех или мультипути, повышая точность позиционирования воздушного судна;
- Оптимизации траектории снижения и посадки с учётом текущей загруженности ВПП, ветровой обстановки и особенностей конкретного воздушного судна[3].

### 3. Примеры внедрения:

- Аэропорт Хитроу (Лондон) использует ИИ-систему прогнозирования загруженности ВПП и управления вылетами.
- Германия внедряет систему DFS iCAS — цифровую платформу УВД с элементами ИИ.
- В России ведутся работы по созданию цифровых аэродромов в рамках проекта «Цифровое небо», включая цифровую диспетчеризацию и РТОП [4].

### 4. Перспективы:

- Повышение автономности аэродромных процессов (в том числе с применением ИИ-дронов для инспекции ВПП).
- Развитие цифровых двойников аэродромов для анализа и планирования.
- Использование ИИ в кибербезопасности систем РТОП.

## **Заключение**

Интеграция цифровых технологий и ИИ в системы связи и радиотехническое обеспечение аэродромов открывает новые горизонты повышения эффективности и безопасности авиационной деятельности. Несмотря на технические и нормативные вызовы, тенденция цифровизации является необратимой и будет определять развитие аэродромной инфраструктуры в ближайшие десятилетия.

## **Литература**

1. Тихомиров А. В., Иванов Д. С. «Применение искусственного интеллекта в радиолокационных системах гражданской авиации», Авиационные приборы, №3, 2021.
2. Миронов С. В. «Диагностика радиотехнических систем на основе методов машинного обучения», Вестник МАИ, №2, 2020.
3. ICAO. Manual on Ground-Based Augmentation System (GBAS), Doc 9839, 2021.
4. Минтранс РФ. Доклад о реализации федерального проекта «Цифровое небо» Российской Федерации, 2023.
5. EUROCONTROL. Artificial Intelligence in Air Traffic Management, White Paper, 2022.
6. ICAO. Digital Aviation Strategy, 2021.