

УДК 621.396
EDN: NUTN VF

Анализ применения технологий связи для удаленной идентификации беспилотных воздушных судов с использованием электронных идентификаторов на территории Российской Федерации

Антропов М. В. , Усс В. С.

НПЦ-СПб ОКБ «ЛЭМЗ» ПАО «НПО «Алмаз»»,
Санкт-Петербург, 198095, Российская Федерация

Постановка задачи. В условиях стремительного роста применения беспилотных воздушных судов актуализируется проблема отсутствия стандартов для их дистанционного наблюдения, а недостаточная обеспеченность современными видами связи удаленных регионов страны затрудняет контроль за их применением. **Целью работы** является анализ современных технологий связи (АЗН-В, сотовой, спутниковой, маломощных радиочастотных технологий), которые могут обеспечить построение надежной единой системы дистанционной идентификации беспилотных воздушных судов. **Новизна:** проведенное исследование отличается наиболее полным анализом соответствующих аспектов рассматриваемых технологий связи. **Результат:** получена оценка применимости рассматриваемых технологий для удаленной идентификации как на настоящий момент, так и в обозримой перспективе. **Практическая значимость** состоит в возможности использования результатов работы для построения национальной системы контроля за беспилотными воздушными судами.

Ключевые слова: удаленная идентификация, беспилотные воздушные суда, электронный идентификатор, беспилотные авиационные системы, беспроводные технологии связи

Актуальность

В настоящее время беспилотные воздушные суда (БВС) используются в различных сферах экономики: в сельском хозяйстве, промышленности (в том числе в нефтегазовом секторе), строительстве, сфере развлечений, на транспорте и многих других. Согласно данным, приведенным в Паспорте «Беспилотные авиационные системы» (<https://legalacts.ru/doc/pasport-bespilotnye-aviatsionnye-sistemy-utv-minpromtorgom-rossii>), объем российского рынка БВС будет постоянно расти (рисунок 1).

В связи со стремительным ростом объема БВС остро встает вопрос о безопасном пребывании их в воздушном пространстве, так как увеличивается риск потенциальных аварий, в том числе столкновений с пилотируемыми воздушными судами (ВС). В свою очередь, развитие современных систем беспроводной связи может обеспечить дистанционную идентификацию в случае оснащения БВС специальными электронными идентификаторами, позволяющими получать исчерпывающую информацию о них, что в свою очередь позволит контролировать местоположение (и, соответственно, законность их нахождения в воздушном пространстве), предотвращать потенциальные аварии и даже безопасно интегрировать БВС в существующую инфраструктуру воздушного движения.

Библиографическая ссылка на статью:

Антропов М. В., Усс В. С. Анализ применения технологий связи для удаленной идентификации беспилотных воздушных судов с использованием электронных идентификаторов на территории Российской Федерации // Вестник СПбГУТ. 2025. Т. 3. № 2. С. 2. EDN: NUTN VF

Reference for citation:

Antropov M., Uss V. Analysis of the Application of Communication Technologies for Remote Identification of Unmanned Aerial Vehicles Using Electronic Identifiers in the Russian Federation // Herald of SPbSUT. 2025. Vol. 3. Iss. 2. P. 2. EDN: NUTN VF

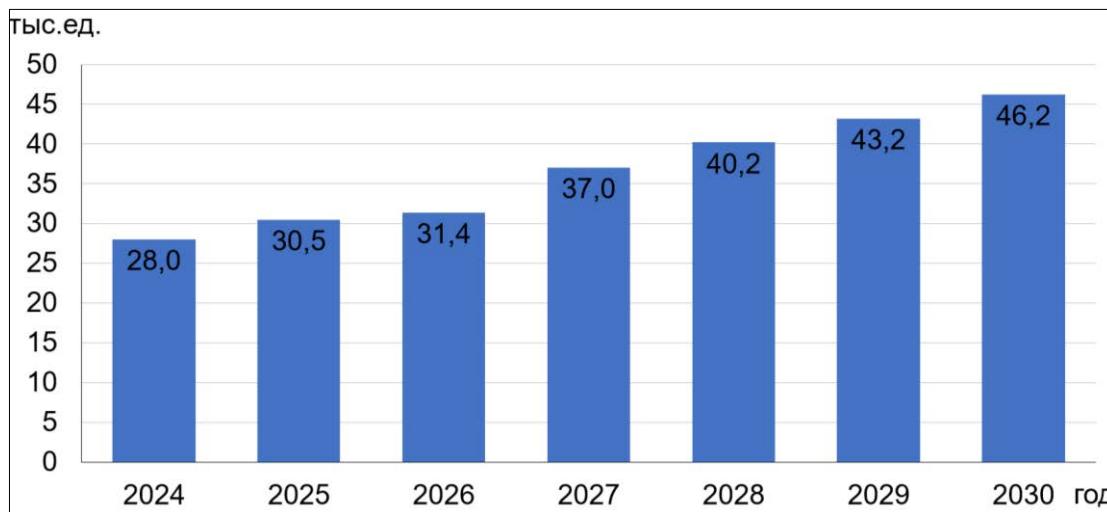


Рис. 1. Объем российского рынка БВС (в том числе самолеты, вертолеты, мультироторы)
без учета образовательных БВС

Однако, несмотря на вступление в силу с 01.03.2025 г. Постановления¹ Правительства РФ № 1701 от 30.11.2024 г. об обязательном оснащении оборудованием удаленной идентификации БВС с максимальной взлетной массой от 0,25 до 30 кг для выполнения визуальных полетов, до сих пор не определена технология связи, на базе которой будет создаваться система идентификации БВС. Следовательно, задача сравнительного анализа существующих технологий связи и выбора оптимальной для создания единой системы удаленной идентификации БВС в РФ является актуальной.

Постановка задачи

Сейчас в открытых источниках практически отсутствует сравнительный анализ возможностей использования существующих беспроводных технологий связи для удаленной идентификации БВС. Это затрудняет выбор эффективных подходов к реализации систем удаленной идентификации БВС на территории РФ и приводит к необходимости рассмотреть каждую из технологий беспроводной связи:

- технологии автоматического зависимого наблюдения-вещания (АЗН-В);
- технологии сотовой связи;
- технологии спутниковой связи;
- маломощные радиочастотные технологии.

На основании сравнения указанных технологий на предмет применимости в задачах удаленной идентификации БВС планируется выбрать оптимальную из них для создания единой системы в реалиях РФ. Для успешного решения поставленной задачи прежде всего необходимо определить процедуру идентификации БВС и уникальный идентификационный номер (УИН) БВС.

Процедура удаленной идентификации БВС

Под удаленной идентификацией в соответствии с упомянутым выше постановлением Правительства будем понимать формирование и передачу информации, содержащей в обязательном порядке опознавательный индекс (УИН), категорию данного ВС, высоту его полета и координаты местоположения. Кроме обязательной информации возможна передача дополнительных данных о БВС (рисунок 2).

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2024 г. № 1701 // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202412030025> (дата обращения 07.04.2025).

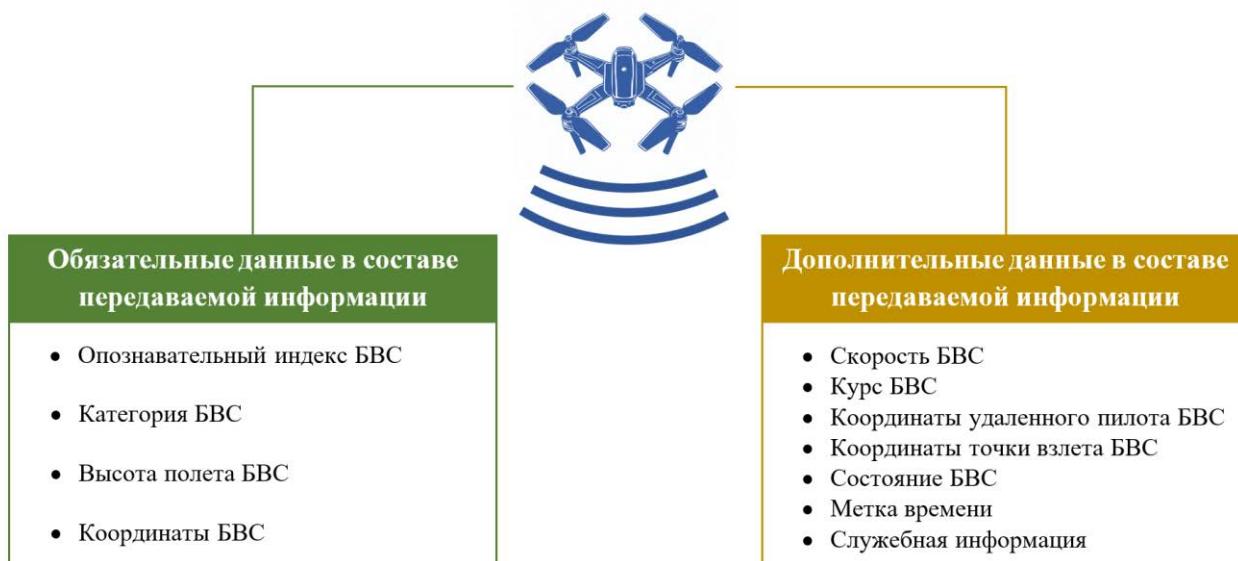


Рис. 2. Состав передаваемой информации при удаленной идентификации

Процесс идентификации должен быть полностью автоматизирован. Средства автоматизации этого процесса совместно с электронным идентификатором должны функционировать в составе системы, которая имеет доступ к базе данных о БВС. Процедура идентификации должна включать в себя следующие этапы [1]:

- учет БВС;
- оборудование БВС электронным идентификатором;
- сбор данных идентификации;
- обработку данных для передачи сообщения;
- передачу сообщения;
- получение сообщения;
- обработку сообщения;
- верификацию сообщения;
- распределение данных по потребителям;
- сопоставление полученного УИН с информацией базы данных о БВС.

Определение УИН БВС

Упомянутый выше учет БВС в настоящее время осуществляется Федеральным агентством воздушного транспорта (Росавиацией) с использованием системы регистрации БВС, включающей в себя базу данных о БВС, и информационного портала, являющегося функциональной подсистемой базы данных (Портал учета ВС). Порядок предоставления содержащейся в базе данных информации устанавливается Министерством транспорта РФ. Процедура учета БВС должна также включать в себя получение для него УИН, который будет передаваться с борта БВС в сообщениях электронного идентификатора. УИН должен однозначно связывать электронный идентификатор, оборудованное им БВС и оператора (владельца) этого БВС. Кроме того, вся эта информация (связанная с УИН) должна содержаться в базе данных о БВС.

УИН ICAO

В целях идентификации ВС Международной организацией гражданской авиации (ICAO, *аббр. от англ. International Civil Aviation Organization*) применяется процедура назначения индивидуального адреса ВС, состоящего из 24 бит, – одного из 16 777 214 адресов ВС, распределяемых ICAO государствам регистрации илиполномочному органу регистрации общих знаков и присваиваемых в соответствии с Приложением 10 к Конвенции о международной гражданской авиации [2].

России предоставлен один из самых больших блоков (1 048 576 адресов), выделенных ICAO для одной страны [2]. На настоящий момент его хватит, чтобы обеспечить идентификацию как пилотируемых, так и беспилотных ВС. Помимо этого есть возможность дополнительно получить еще 16 777 214 адресов для присвоения БВС на территории России. Для этого в томе IV Приложения 10 к Конвенции о международной гражданской авиации [3] предусмотрено использовании кода «1» управляющего поля CF расширенного сквичтера. Этот код зарезервирован для устройств-неприемоответчиков и позволяет применять другие методы адресации в поле 24-битного адреса, т. е. не ICAO-адреса. Таким образом, 24-битный адрес ВС может служить в качестве УИН для БВС.

УИН DOA

Также идентификацию БВС можно реализовать на основе архитектуры цифровых объектов (DOA, *аббр. от англ. Digital Object Architecture*), представляющей реальные объекты как множество именованных цифровых объектов и инфраструктуры и позволяющей по уникальному имени цифрового объекта получать его данные. Технология DOA разработана Международным союзом электросвязи в 2014 г. для идентификации цифровых объектов и устройств интернета вещей¹.

В СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича разработана концепция Единой системы идентификации и прослеживаемости беспилотных авиационных систем (ЕСИП БАС) на основе DOA. DOA обеспечивает подлинно международное управление и независимость распределения ресурсов идентификации. Использование идентификации на базе DOA позволит учитывать все существующие уникальные идентификаторы (MAC, IMEI, ID, Pv4 / IPv6 и др.), обеспечив привязку устройств и приложений Интернета вещей без соотнесения с конкретным идентификатором².

Совместное использование УИН ICAO и DOA

Система контроля жизненного цикла БАС на основе DOA позволяет интегрировать 24-битный адрес ВС следующим образом. Для любого объекта, имеющего уникальный код ICAO, выделяется уникальный идентификатор, в метаданные которого заносятся все необходимые сведения, связанные с этим идентификатором, и ссылки на информационные системы, в которых хранится эта информация.

Таким образом, предлагаемый вариант ЕСИП БАС позволяет интегрировать в систему контроля жизненного цикла БАС идентификацию на основе кодов ICAO без изменений в системе управления воздушным движением традиционных ВС, а также масштабировать использование других систем идентификации, в которых применение открытых международных уникальных кодов идентификации ВС невозможно по техническим или иным причинам, связанным с обеспечением требований безопасности применения БАС, включая специальные применения.

Анализ технологии АЗН-В для удаленной идентификации БВС

Технология АЗН-В уже давно используется в пилотируемой авиации. На сегодняшний день существует три стандартизованных ICAO линии передачи данных (ЛПД) для АЗН-В:

- приемопередатчик универсального доступа (UAT, *аббр. от англ. Universal Access Transceiver*);
- расширенный сквичтер на частоте 1090 МГц (1090 ES, *аббр. от англ. Extended Squitter*);
- линия цифровой связи в диапазоне очень высоких частот (ОВЧ) режима 4 (VDL-4, *аббр. от англ. Very High Frequency Digital Link Mode 4*).

¹ В России хотят запретить полеты БПЛА без спецмодемов на борту // CNews. 12.04.2024. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2024-04-12_v_rossii_hotyat_zapretit (дата обращения 07.04.2025).

² СПбГУТ поделился экспертизой на Kazan Digital Week 2023 // СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. 27.09.2023. URL: <https://www.sut.ru/bonchnews/industry/27-09-2023-spbgut-podelilsya-ekspertizoy-na-Kazan-Digital-Week-2023> (дата обращения 07.04.2025); Ректор СПбГУТ представил систему идентификации БАС в Совете Федерации // СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. 26.02.2025. URL: <https://www.sut.ru/staff/bonchnews/science/26-02-2025-rektor-spbgut-predstavil-sistemu-identifikacii-bas-v-sovete-federacii> (дата обращения 07.04.2025).

Из этих ЛПД в авиации используются две – UAT и 1090 ES. Первая применяется исключительно в США для авиации общего назначения, вторая – во всем остальном мире, а также в США для коммерческой авиации. ЛПД VDL-4 не принята к эксплуатации ни одной страной мира. Сравнение ЛПД в системе АЗН-В¹ приведено в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика ЛПД в системе АЗН-В

| ЛПД АЗН-В | Стандартизированы ICAO | Сертифицированы в РФ | Количество стран-эксплуатантов | Символьная скорость, кбит/с |
|-----------|------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| UAT | + | – | 1 (США) | 1000 |
| 1090 ES | + | + | более 80 | 1000 4000 (+ 8 PSK) |
| VDL-4 | + | + | – | 14,4 (1 канал) 57,6 (4 канала) |

В России сертифицированы и могут применяться только две ЛПД – 1090 ES и VDL-4, – каждая из которых обладают рядом преимуществ и недостатков. Однако широкое применение получили системы АЗН-В 1090 ES, работающие на частоте 1090 МГц. Диапазон радиочастот 118–137 МГц, используемый аппаратурой VDL-4, в настоящее время применяется авиационной подвижной службой в качестве аварийных частот и частот для поиска и спасения, для наземной связи на аэродромах, связи «воздух – воздух», для ОВЧ-линий цифровой связи (все режимы VDL). На сегодняшний день в гражданской авиации среди всех ЛПД «борт – земля» самую большую пропускную способность и потенциал ее повышения в обозримой перспективе имеет 1090 ES. Также преимуществом 1090 ES является ее совместимость с гражданской авиацией, поскольку все большее количество ВС, как пилотируемых, так и беспилотных, оснащаются оборудованием стандарта АЗН-В 1090 ES².

При этом есть вопросы, требующие внимания при использовании ЛПД 1090 ES для удаленной идентификации БВС. Так, ICAO в своем обращении к государствам³ высказывает опасения по поводу перегруженности частоты 1090 МГц и нехватки 24-битных адресов ВС. Эти опасения касаются России в меньшей степени из-за низкой плотности ее воздушного движения и, как было сказано выше, достаточно большого блока 24-битных адресов, предоставленных ICAO. Тем не менее при использовании ЛПД 1090 ES для удаленной идентификации БВС, чтобы уменьшить помехи и нагрузку на наземные приемные станции (ПС), необходимо снизить уровень излучаемой мощности электронного идентификатора в соответствии с Добавлением М «Руководства ICAO по авиационному наблюдению»⁴.

Таким образом, в качестве технологии АЗН-В для целей удаленной идентификации целесообразно рассматривать 1090 ES. Примеры электронных идентификаторов – передатчики «Москит» от ПАО «НПО «Алмаз» и «ADS-Bee» от АО «Навигатор» – представлены на рисунке 3.

¹ Аэронавигационный комитет союза авиапроизводителей России о стандарте VDL // Информационный сайт АНО «ЦЕНТР «АЭРОНЕТ». 29.08.2019. URL: <https://nti-aeronet.ru/blog/2019/08/29/ajeronavigacionnyj-komitet-sojuza-aviaproizvoditelej-rossii-o-standarde-vdl-4> (дата обращения 07.04.2025); Официальная позиция компании «ЦРТС»: VDL-4 должна быть исключена для применения в гражданской авиации // AVIA.RU Network. 29.08.2019. URL: <https://www.aviaru.net/pr/54456> (дата обращения 07.04.2025); Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) Implementation and Regulation Meeting for the NAM/CAR/SAM Regions. ADS-B/LEG. Final Summary of Discussions. ICAO. Mexico City, Mexico, 26–30 November 2018; Наблюдение дистанционно пилотируемых воздушных судов и вопросы кибербезопасности: рабочий документ ИКАО A39-WP/2961 // Ассамблея – 39-я сессия. Техническая комиссия. Пункт 33 повестки дня. Безопасность полетов и аэронавигационный мониторинг и анализ. 26.08.2016.

² Аэронавигационный комитет союза авиапроизводителей России о стандарте VDL...; Официальная позиция компании «ЦРТС»: VDL-4 должна быть исключена для применения в гражданской авиации...

³ Письмо Генерального секретаря ИКАО Фан Лю от 8 ноября 2019 г. О дополнении к Руководству по авиационному наблюдению (Doc 9924). Ref.: SP 44/2 – 19/77.

⁴ Doc 9924. Aeronautical Surveillance Manual. Third Edition. ICAO, 2020.



Рис. 3. Электронные идентификаторы для БВС на основе технологии АЗН-В 1090 ES: а) «Москит»; б) «ADS-Bee»

Анализ технологии сотовой связи для удаленной идентификации БВС

Для обеспечения удаленной идентификации БВС могут использоваться сети сотовой связи различных поколений (2G–5G), имеющие свои особенности. Скорости передачи данных любого из поколений сотовой связи достаточно для целей отправки идентификационной информации БВС. При этом сети 4G позволяют значительно повысить скорость трансляции данных. Это дает возможность отправки более сложной информации, включая видеопотоки и данные о состоянии БВС. Задержки при передаче данных также невелики, однако совокупная задержка в канале сотовой связи для сетей 2G значительна. В сетях сотовой связи, начиная с четвертого поколения, низкая задержка в канале и высокая пропускная способность позволяют производить мониторинг БВС в режиме реального времени.

Основные ограничения накладывает высота работы сотовой связи, так как антенны базовых станций (БС) оптимизированы для взаимодействия с наземными пользователями; оказывают влияние избыточные хендоверы (процедуры передачи активного соединения между сотами) и помехи в линиях связи. Так, исследования позволили заключить, что существующие сети LTE обеспечивают возможность обслуживания БВС, летающих на небольших высотах – до 120 м. В ходе тестов на существующей сети LTE наблюдались беспроблемные хендоверы между различными БС с нулевыми потерями управления. Также тесты показали, что несмотря на ориентацию антенн в сторону земли, на высотах до 120 м БВС может обслуживаться множеством БС на разных частотах, что обеспечивает в целом хороший радиоканал. Вместе с тем с увеличением высоты полета наблюдался рост интерференции, что негативно влияло на качество канала связи с БВС. В частности, наблюдался высокий уровень опорного сигнала, получаемого со множества «соседних» БС, кроме того, беспилотник «видел» намного больше БС, чем в ситуации «на уровне земли». Отсюда следуют рекомендации по оптимизации сетей LTE для их подготовки к масштабовому использованию БВС¹:

- уменьшение интерференции, связанной с большим числом «соседних» БС, которые эффективно излучают сигналы на высотах порядка 120 м;
- оптимизация хендоверов, которая будет учитывать, что они имеют иной характер, нежели хендоверы абонентских устройств на уровне земли;
- учет специфики БВС, вероятно, потребует от сети умения понимать, что данный приемопередатчик установлен на летающем объекте, а не является «наземным» устройством.

В таблице 2 приводится сравнение различных поколений сотовой связи при их использовании для удаленной идентификации БВС.

¹ Бойко А. Qualcomm провел тесты управления БЛА через сеть LTE вместе с Verizon Wireless // RoboTrends. 20.10.2016. URL: <https://robotrends.ru/pub/1642/bespilotniki-i-seti-sotovoy-svyazi> (дата обращения 07.04.2025).

Таблица 2. Сравнительная характеристика поколений сотовой связи при их использовании для удаленной идентификации БВС

| Поколение сотовой связи | Возможность передачи идентификационной информации БВС | Возможность мониторинга БВС в реальном времени | Зависимость от импортных комплектующих |
|-------------------------|---|--|--|
| 2G | + | средняя | средняя |
| 3G | + | приемлемая | высокая |
| 4G | + | высокая | низкая |
| 5G | + | высокая | средняя |

Преимуществами применения технологии сотовой связи для идентификации БВС являются:

1) возможность использования существующей инфраструктуры сотовой связи для идентификации БВС в двумерной модели покрытия сети, что, в свою очередь, позволяет:

– охватить сразу около 30 % территории страны¹ (в том числе обеспечить идентификацию БВС в ряде удаленных мест);

– снизить затраты на первоначальное развертывание (двумерной модели покрытия сети);

2) высокая скорость передачи данных: с увеличением поколения (от 2G до 5G) скорость передачи данных значительно возрастает, что позволяет передавать все большие объемы информации в реальном времени;

3) низкая задержка в передаче данных: с увеличением поколения (от 2G до 5G) задержка уменьшается, что критично для БВС, имеющих большие скорости;

4) большая емкость сети: с увеличением поколения (от 2G до 5G) емкость сотовой сети увеличивается, т. е. сеть может одновременно обслуживать все большее количество подключенных устройств, что важно для массового использования БВС;

5) возможность определения местоположения БВС без использования данных глобальной навигационной спутниковой системы (через БС, уровень мощности сигнала, методом сопоставления образов (сигнатур)) [4].

К недостаткам использования технологии сотовой связи для идентификации БВС относятся:

1) ограниченная высота передачи данных: сотовые сети оптимизированы для работы с объектами на земле, а не в воздухе, поэтому обеспечение устойчивой связи при использовании существующей инфраструктуры возможно на высотах не более 150–200 м²; на высотах более 200–300 м гарантированная связь отсутствует³;

2) зависимость от покрытия сети: возможность идентификации БВС зависит от инфраструктуры (наличия сотовых вышек и их состояния). В удаленных населенных пунктах, горах и т. д. могут возникнуть проблемы с возможностью идентификации БВС⁴, а на более чем 70 % территории страны сотовая связь отсутствует⁵;

¹ Бойко А. Беспилотники и телеком // RoboTrends. URL: <https://robotrends.ru/robopedia/bespilotniki-v-telekome-primerы-применения> (дата обращения 07.04.2025).

² Кодачигов В., Львова. А. Наивысший пилотаж: дроны в России хотят подключить к сотовым сетям // Известия. 04.04.2023. URL: <https://iz.ru/1492721/valerii-kodachigov-anastasiia-lvova/naivysshii-pilotazh-drony-v-rossii-khotят-podkliuchit-k-sotovym-setiam> (дата обращения 07.04.2025).

³ Покажись красавица: Установку транспондеров на беспилотники планируют сделать обязательной // АЭРОНЕКСТ. 21.04.2023. URL: https://aeronext.aero/press_room/news/2023_04_21_pokazhis_krasavitsa_ustanovku_transponderov_na_bespilotniki_planiruyut_sdelat_obyazatelnoy (дата обращения 07.04.2025).

⁴ В нацпроект по беспилотникам добавят «цифровое бесшовное небо» // CNews. 07.06.2024. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2024-06-07_v_natsproekt_po_bespilotnikam (дата обращения 07.04.2025).

⁵ АО «ГЛОНАСС» представит в июле спутниковый канал связи для дронов // ТАСС. 06.06.2024. URL: <https://tass.ru/ekonomika/21018845> (дата обращения 07.04.2025).

3) ограничение по скорости перемещения БВС: для гарантированной идентификации максимальная скорость перемещения БВС без влияния на сигнал составляет: в сетях 3G – 120 км/ч; в сетях 4G – 350 км/ч; в сетях 5G – 500 км/ч¹ [5];

4) высокая стоимость: создание специализированной инфраструктуры (переход от существующей двумерной модели покрытия сети к трехмерной) требует существенных вложений; также использование сотовой связи может быть дорогостоящим в условиях международных полетов или в удаленных регионах

В качестве примера электронных идентификаторов на основе сотовой связи на рисунке 4 представлены транспондеры «AST-402» и «БПСИ 2», разработанные ООО НИЦ «АЭРОСКРИПТ» и СПбГУТ соответственно.



а)



б)

Рис. 4. Электронные идентификаторы для БВС на основе сотовой связи: а) «AST-402»; б) «БПСИ 2»

Анализ технологий спутниковой связи для удаленной идентификации БВС

На сегодняшний день удаленную идентификацию БВС в России возможно реализовать на двух системах спутниковой связи: «Гонец» и Iridium.

«Гонец» («Гонец-Д1М») – это российская многофункциональная система персональной спутниковой связи (МСПСС), основным назначением которой является передача данных и предоставление услуг подвижной спутниковой связи абонентам в глобальном масштабе с использованием группировки космических аппаратов связи на низких орbitах. Оператором отечественной МСПСС «Гонец», созданной по заказу Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос», является АО «Спутниковая система «Гонец»².

Iridium («Иридиум») – единственная в мире глобальная система подвижной спутниковой связи, обеспечивающая покрытие 100 % Земной поверхности, от полюса до полюса, без провалов и зазоров³.

Обе системы имеют малогабаритный спутниковый модем для установки на БВС. Скорость передачи информации в канале «вверх» (канал «Земля» → «Космос») обоих модемов достаточна для передачи данных удаленной идентификации. Сравнение систем спутниковой связи представлено в таблице 3.

¹ Шалагинов А. Ликбез 11-5. Поколения сотовой связи (5G) // Telecom & IT. 13.01.2020. URL: <https://shalaginov.com/2020/01/13/6831/> (дата обращения 07.04.2025); 5G: революция в мире связи – высокая скорость, низкая задержка и новые возможности для вас // Фирма К ТЕЛЕКОМ. 03.05.2024. URL: <https://bistok.k-telecom.org/articles/5g-revoluciya-v-mire-svyazi-vysokaya-skorost-nizkaya-zaderzhka-i-novye-vozmozhnosti-dlya-vas> (дата обращения 07.04.2025).

² МСПСС «Гонец-Д1М» // АО «Спутниковая система «Гонец». URL: <https://gonets.ru/rus/uslugi/sistema-gonets> (дата обращения 07.04.2025).

³ О спутниковой сети Iridium // Иридиум Коммьюникешенс. URL: <https://iridium-russia.com/network> (дата обращения 07.04.2025).

Таблица 3. Сравнительная характеристика систем спутниковой связи

| Спутниковая система связи | Орбита (тип / высота, км) | Количество действующих спутников | Скорость передачи данных ¹ , кбит/с | Наличие компактного спутникового модема (без учета АФУ ²) |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|---|
| Гонец | низкая околоземная / 1500 | 18 | 9,6 (Гонец-Д1М) | + |
| Iridium | низкая околоземная / 780 | 66 (не считая резервных) | 2,4 (Iridium 9603) | + |

¹ Максимальная скорость в канале «вверх».

² АФУ – антенно-фидерное устройство.

Из-за отсутствия данных в открытых источниках остается неясным, позволит ли пропускная способность спутникового канала обеспечить идентификацию большого количества БВС. К явным недостаткам спутниковой связи относится большая задержка в канале связи, что не может обеспечить беспрерывную идентификацию всех БВС на территории РФ. Отметим, что сейчас идет разработка и внедрение других низкоорбитальных систем связи, которые в дальнейшем смогут обеспечить удаленную идентификацию:

– «Марафон-IoT» – глобальная низкоорбитальная многоспутниковая система передачи данных, входящая в федеральную программу «Сфера»; всего в группировку должны войти 264 космических аппарата, которые будут размещаться в 12 орбитальных плоскостях на высоте около 750 км¹;

– низкоорбитальная спутниковая группировка связи, разрабатываемая «БЮРО 1440»: на орбиту выведены три космических аппарата связи «Рассвет-1», разгонным блоком «Фрегат» была сформирована отдельная солнечно-синхронная орбита высотой 558,4 км²;

– орбитальная группировка для Интернета вещей, насчитывающая 157 малых и сверхмалых космических аппаратов, планируется к развертыванию ООО «Спутникс»³;

– Telum LEO – проект спутникового Интернета вещей, инициированный компанией «Зонд-Холдинг»; заявка на систему Telum LEO 1, в которую включены 152 космических аппарата (на одном из трех высотных эшелонов: 385, 585 или 1500 км над земной поверхностью), подана в Бюро радиосвязи Международного союза электросвязи 20 июня 2022 г.⁴

В качестве примера электронных идентификаторов на основе спутниковой связи на рисунке 5 представлены транспондеры «ГОНЕЦ-МОДУЛЬ» и «Азимут IRIDIUM+CTRL/PWR OEM», разработанные АО «Спутниковая система «Гонец» и ООО «ДЕЦИМА» соответственно.

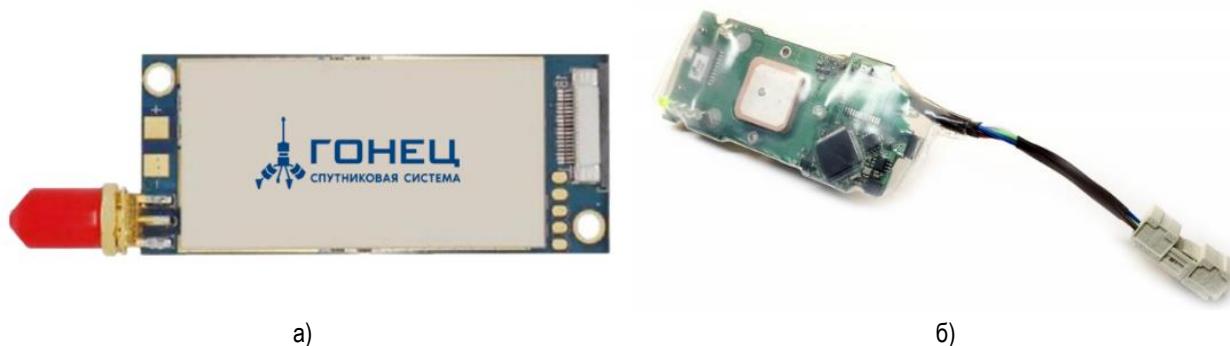


Рис. 5. Электронные идентификаторы для БВС на основе спутниковой связи: а) «ГОНЕЦ-МОДУЛЬ»; б) «Азимут IRIDIUM+CTRL/PWR OEM»

¹ Королев П. Полумарафон: «Роскосмос» нашел деньги на половину группировки «Марафон IoT» // ComNews. 08.09.2023. URL: <https://www.comnews.ru/content/228713/2023-09-08/2023-w36/1007/polumarafon-roskosmos-nashel-dengi-polovinu-gruppirovki-marafon-iot> (дата обращения 07.04.2025).

² БЮРО 1440 // ИКС Холдинг. URL: <https://x-holding.ru/projects/buro-1440> (дата обращения 07.04.2025).

³ ООО «Спутникс». URL: <https://sputnix.ru/ru> (дата обращения: 07.04.2025).

⁴ Шпунт Я. Новый стандарт спутникового интернета вещей хочет подружиться с группировкой «Марафон IoT» // ComNews. 17.06.2024. URL: <https://www.comnews.ru/content/233753/2024-06-17/2024-w25/1007/novyy-standart-sputnikovogo-interneta-yeschey-khochet-podrzhitsya-gruppirovkoy-marafon-iot> (дата обращения 07.04.2025).

Анализ маломощных радиочастотных технологий для удаленной идентификации БВС

Маломощные радиочастотные технологии позволяют решать задачи идентификации и отслеживания БВС, обеспечивая необходимую энергоэффективность и компактность. Для наглядности характеристики основных маломощных радиочастотных технологий представлены в таблице 4.

Таблица 4. Сравнительная характеристика маломощных радиочастотных технологий

| Технология | Радиус действия [*] , км | Скорость передачи данных [*] , Мбит/с | Уровень помехозащищенности | Готовность к применению на БВС |
|------------|-----------------------------------|--|----------------------------|--------------------------------|
| Bluetooth | до 1 | до 2 (BLE) до 50 (EDR) | высокий | высокая |
| Wi-Fi | до 2 | до 600 (802.11n) до 10000 (802.11ax) | умеренный | высокая |
| FLARM | до 10 | до 0,01 | умеренный | низкая |
| Sigfox | до 50 | до 0,0001 | высокий | низкая |
| LoRa | до 50 | до 0,05 | средний | средняя |
| NB-IoT | до 22 | до 0,25 | высокий | высокая |
| RFID | до 0,3 | до 0,64 (Gen2v2) | средний | средняя |

^{*} Теоретически достижимые значения.

Как видно из таблицы 4, скорость передачи данных Sigfox недостаточна для трансляции данных идентификации БВС. Кроме того, технологии Sigfox и FLARM на настоящий момент не представлены в России. Остальные маломощные радиочастотные технологии – Bluetooth, Wi-Fi, LoRa и RFID – при своих достоинствах и недостатках могут быть использованы для идентификации БВС на территории России. При этом надо отметить, что технологии LoRa и RFID попадают в диапазон частот 862–890 МГц, который в соответствии с «Таблицей распределения полос радиочастот между радиослужбами РФ»¹ отнесен к подвижной радиосвязи (за исключением воздушной подвижной) и отведен для использования в целях воздушной радионавигации. Применение электронных идентификаторов на основе технологий LoRa и RFID, размещенных на БВС, в отличие от размещенных на наземных подвижных средствах (автомобилях, ж/д транспорте, велосипедах и др.), требует предварительного обсуждения в экспертном сообществе и проведения экспериментальных исследований².

В качестве примера электронных идентификаторов на основе маломощных технологий связи на рисунке 6 представлены транспондеры «АРНЕГА-RID» и «Ответчик GoodWAN», разработанные ООО «Беспилотные системы» и ООО «РадиоТех» соответственно.

¹ Об утверждении Таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений Правительства Российской Федерации. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.09.2019 № 1203-47 (с изменениями, в том числе от 30.01.2024 № 75-5) // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001201909250014> (дата обращения 07.04.2025).

² ГосНИИАС: Радиометки на беспилотниках технически бесполезны и даже опасны! // АЭРОНЕКСТ. 29.08.2017. URL: https://aeronext.aero/press_room/news/2017_08_28_gosnii_as_radiometki_na_bespilotnikakh_tekhnicheski_bespolezny (дата обращения 07.04.2025).



а)



б)

Рис. 6. Электронные идентификаторы для БВС на основе маломощных технологий связи:
а) «APNEGA-RID»; б) «Ответчик GoodWAN»

Анализ применимости рассмотренных технологий связи для удаленной идентификации БВС

Важно отметить, что ни одна из рассмотренных технологий связи изначально не создавалась для идентификации БВС, однако на основании вышеприведенного анализа для этих целей могут быть использованы следующие технологии:

- АЗН-В: 1090 ES;
- сотовая связь: 2G–5G;
- спутниковая связь: «Гонец», Iridium;
- маломощные технологии: Bluetooth, Wi-Fi, LoRa, NB-IoT, RFID.

Сравнение рассмотренных технологий связи [6] для целей удаленной идентификации приведено в таблице 5.

К преимуществам технологии АЗН-В 1090 ES можно отнести передачу достаточного объема полезной информации для целей идентификации БВС, неограниченность идентификации по высоте и скорости полета БВС, наличие готовой инфраструктуры (приемники АЗН-В / станции МПСН) и совместимость с гражданской авиацией, а соответственно, видимость для пилотируемых ВС и органов управления воздушным движением. Минусом технологии АЗН-В 1090 ES является ее недостаточная защищенность, особенно по линии связи «борт БВС» → «борт ПВС».

Достоинства технологий сотовой связи состоят в большой скорости и низкой задержке в передаче данных. Наличие готовой инфраструктуры в виде действующих 2G–5G сетей. Также сети 4G / 5G могут использоваться для отслеживания БВС не только по приему сообщений о местоположении (по данным бортовых навигационных систем), но и по определению места электронного идентификатора 4G / 5G (совпадающего с местонахождением БВС) средствами оператора мобильной связи (LBS, аббр. от англ. Location Based Service). Первый способ более точный, однако второй не зависит от наличия сигналов GPS и работы навигационной системы БВС. К недостаткам сотовых технологий в силу технических особенностей относится ограниченная высота полета БВС для удаленной идентификации. Передача данных в сотовых сетях для гарантированной идентификации БВС ограничивается высотой в 200–300 м. Именно поэтому сотовые сети позиционируются для низких городских полетов¹. Также использование технологий сотовой связи для идентификации БВС накладывает ограничение на скорость его перемещения. Так, для гарантированной идентификации максимальная скорость перемещения БВС без влияния на сигнал составляет: в сетях 3G – 120 км/ч; в сетях 4G – 350 км/ч; в сетях 5G – 500 км/ч.

Преимущества технологий спутниковой связи заключаются в их возможности охвата всей территории страны и, как и в случае АЗН-В 1090 ES, неограниченности идентификации БВС по высоте полета. Большая задержка в канале спутниковой связи – основной минус технологий спутниковой связи на данный момент – не позволяет реализовать идентификацию БВС в реальном времени. Также неизвестна пропускная способность спутникового канала для обеспечения идентификации всех БВС на территории РФ.

¹ Гонка технологий для интеграции дронов в воздушное пространство началась по всему миру // Совзонд. 25.09.2019. URL: <https://sovzond.ru/press-center/news/bpla/6331> (дата обращения 07.04.2025).

Таблица 5. Сравнительная характеристика существующих технологий связи для удаленной идентификации БВС (теоретически достижимые значения)

| Параметры сравнения | Технологии удаленной идентификации БВС | | | | | | | |
|---|--|----------------------|--------------------------------------|-----------------|-------|------------------------------|---------------|----------------------|
| | АЗН-В: 1090 ES | Сотовая связь: 2G-5G | Спутниковая связь: «Гонец» / Iridium | Bluetooth | Wi-Fi | LPWAN: LoRa | LPWAN: NB-IoT | RFID |
| Максимальная высота идентификации, м | Весь диапазон, доступный БВС | 300 | Весь диапазон, доступный БВС | 1000 | 2000 | Весь диапазон, доступный БВС | 300 | 300 |
| Скорость БВС без влияния на сигнал*, км/ч | Весь диапазон, доступный БВС | 3G: 120 | Весь диапазон, доступный БВС | 45** | 80** | 110** | Неизвестно | 250 |
| | | 4G: 350 | | | | | | |
| | | 5G: 500 | | | | | | |
| Количество*** абонентов на одну ПС / БС / спутник | 300 | 3G: 300 | Неизвестно | Несколько сотен | 128 | 5000 | 1500 | Несколько сотен |
| | | 4G: 2000 | | | | | | |
| | | 5G: 1 млн | | | | | | |
| Частота обновления $\geq 1\text{Гц}$ | + | + | — | + | + | + | + | Статичная информация |
| Наличие компактного БУ**** для БВС, с учетом АФУ | + | + | — | + | + | + | + | + |
| Видимость для ПВС***** и УВД***** | + | — | — | — | — | — | — | — |
| Передача данных о местонахождении СУ***** | — | + | + | + | + | + | + | — |

* Качество сигнала при этом достаточное для передачи данных идентификации.

** Максимально допустимые значения неизвестны, приведены известные из литературы данные.

*** В радиусе до 1 кв. км.

**** БУ – бортовое устройство.

***** ПВС – пилотируемое воздушное судно.

***** УВД – управление воздушным движением.

***** СУ – станция управления.

Достоинством маломощных радиочастотных технологий, как следует из их названия, является высокий уровень энергоэффективности и возможность сокращения затрат при развертывании системы идентификации БВС на их основе.

К преимуществам маломощных технологий Bluetooth / Wi-Fi относятся их распространенность и, следовательно, дешевизна внедрения решений на их основе, а также большая скорость передачи данных и стандартизация для удаленной идентификации БВС. К недостаткам Bluetooth / Wi-Fi можно отнести массовость различных технологических решений на их основе и, соответственно, большую вероятность помех в используемом ими диапазоне частот.

Маломощная технология LoRa способна передавать данные идентификации БВС на большие расстояния, а суммарные расходы на новое развертывание сети LoRaWAN на порядок меньше затрат, необходимых для строительства, например, сети NB-IoT с нуля¹. Слабые стороны технологии LoRa – ограниченная скорость перемещения БВС (с передатчиком LoRa на борту) для гарантированной идентификации (без потери пакетов данных) [7, 8] и использование нелицензируемого диапазона радиочастот: с учетом данного обстоятельства строящиеся сети будут функционировать в условиях помех, создаваемых прочими пользователями диапазона, включая коммерческие и частные сети IoT, построенные по технологиям LoRa². Также, как было сказано выше, LoRa попадает в диапазон частот, отведенный для использования в целях воздушной радионавигации, и требует экспериментального подтверждения безопасности полетов.

К достоинствам маломощной технологии NB-IoT можно отнести большую скорость передачи данных и высокие уровни помехозащищенности и проникающей способности сигнала связи. Кроме того, NB-IoT работает в лицензируемых диапазонах сотовой связи, поэтому обеспечивает повышенную надежность и безопасность передачи данных. К недостаткам NB-IoT можно отнести более высокие затраты на развертывание и эксплуатацию по сравнению с другими маломощными технологиями.

Выводы

В результате анализа различных технологий связи определены соответствующие целям удаленной идентификации БВС: АЗН-В (1090 ES), сотовая связь (2G–5G), спутниковая связь («Гонец», Iridium), маломощные технологии (Bluetooth, Wi-Fi, LoRa, NB-IoT, RFID).

Наиболее подходящей технологией для единой системы удаленной идентификации БВС на настоящий момент является АЗН-В 1090 ES в силу минимальных ограничений для реализации (см. таблицу 5) и успешного апробирования совместно с пилотируемой авиацией³. На основе АЗН-В 1090 ES можно уже сейчас построить всеобъемлющую систему идентификации БВС для всех классов воздушного пространства. Наиболее перспективными (в ближайшем будущем) для идентификации БВС являются технологии на основе сотовой и спутниковой связи. Сотовая связь уже сейчас предлагает расширенные возможности для реализации на ее основе системы идентификации БВС, а также множество различных сценариев для использования БВС в будущем. Однако существенным ограничением сотовой связи, позиционирующейся для низких городских полетов, является высота ее использования (не превышающая 300 м).

Спутниковая связь также имеет большой потенциал для применения на территории такой большой страны, как Россия. Однако на настоящий момент она может использоваться только на относительно больших БВС, так как не имеет компактных БУ, с учетом АФУ, подходящих для оснащения малых БВС. Кроме этого, для построения системы идентификации БВС в реальном времени необходимо увеличивать пропускную способность канала спутниковой связи и темп обновления информации.

Для дальнейшего анализа следует определить требования к безопасности внедряемой технологии связи. Необходима разработка адекватных математических моделей и методик анализа на их основе, которые позволяют оценивать эффективность внедряемой системы идентификации БВС с учетом используемой технологии связи, развитости инфраструктуры, рельефа местности, операционной нагрузки на систему, затрат и пр., что позволит повысить качество построения единого идентификационного поля РФ.

Кроме того, полезно рассмотреть применение электронных идентификаторов на основе комбинированных технологий связи, что могло бы компенсировать ограничения каждой из технологий, подходящей для целей удаленной идентификации БВС.

¹ Бутусов А. LoRaWAN против NB-IoT: сравнение стандартов // [iot.ru](https://iot.ru/promyshlennost/lorawan-protiv-nb-iot-sravnenie-standartov). 04.09.2017. URL: <https://iot.ru/promyshlennost/lorawan-protiv-nb-iot-sravnenie-standartov> (дата обращения 07.04.2025); LoRaWAN против NB-IoT: Как они сравниваются и различаются // MOKOSmart. 19.03.2024. URL: <https://www.mokosmart.com/ru/lorawan-vs-nb-iot-how-do-they-compare-and-differ/> (дата обращения 07.04.2025); LoRa vs NB-IoT: сравнение технологий связи // Jooby. 03.09.2024. URL: <https://jooby.eu/ru/blog/lora-vs-nb-iot-sravnenie-tehnologij-svyazi> (дата обращения 07.04.2025).

² Строительство сетей LoRa в РФ // iTechinfo. URL: <https://itechinfo.ru/content/строительство-сетей-lora-в-рф> (дата обращения 07.04.2025).

³ Система мониторинга использования воздушного пространства над мегаполисом // ПАО «НПО «Алмаз» ТОП «ЛЭМЗ». URL: <https://lemz.ru/смивп> (дата обращения 07.04.2025).

Литература

1. Нестеров С. Ю., Чистов В. В., Усс В. С., Антропов М. В. и др. Проведение научных и экспериментальных исследований возможности применения для низколетящих беспилотных воздушных судов специальных идентификаторов, в том числе на базе физических и программных электронных модулей абонента, с целью дополнительного контроля и ограничения применения низколетящих беспилотных воздушных судов: отчет о составной части НИР. Книга 1. Шифр: «Идентификатор БВС-Алмаз». М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2024. 311 с.
2. Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation. Aeronautical Telecommunications. Vol. III. Communication Systems. ICAO, Second Edition, 2007.
3. Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation. Aeronautical Telecommunications. Vol. IV. Surveillance and Collision Avoidance Systems. ICAO, Fifth Edition, 2014.
4. Нестеров С. Ю., Федосеев И. В., Антропов М. В., Мещеряков В. Д. Проведение научных и экспериментальных исследований возможности применения для низколетящих беспилотных воздушных судов специальных идентификаторов, в том числе на базе физических и программных электронных модулей абонента, с целью дополнительного контроля и ограничения применения низколетящих беспилотных воздушных судов: отчет о составной части НИР. Приложение А. Идентификация БВС с применением технологии GSM. Шифр: «Идентификатор БВС-Алмаз». М.: ПАО «НПО «Алмаз», 2024. 104 с.
5. Диязитдинов Р. Р. Системы связи с подвижными объектами: конспект лекций. Самара: ПГУТИ, 2013. 204 с.
6. UAS Identification and Tracking ARC Recommendation. Final Report – Advisory and Rulemaking Committees. Federal Aviation Administration (FAA), 2017.
7. Yousuf A. M., Rochester E. M., Ousat B., Ghaderi M. Throughput, Coverage and Scalability of LoRa LPWAN for Internet of Things // Proceedings of IEEE/ACM 26 International Symposium on Quality of Service (IWQoS, 04–06 June 2018, Banff, AB, Canada). 2018. DOI: 10.1109/IWQoS.2018.8624157
8. Di Renzone G., Parrino S., Peruzzi G., Pozzebon A. LoRaWAN in Motion: Preliminary Tests for Real Time Low Power Data Gathering from Vehicles // IEEE International Workshop on Metrology for Automotive (MetroAutomotive, 01–02 July 2021, Bologna, Italy). 2021. DOI: 10.1109/MetroAutomotive50197.2021.9502882

**Статья поступила 18 апреля 2025 г.
Одобрена после рецензирования 06 мая 2025 г.
Принята к публикации 23 мая 2025 г.**

Информация об авторах

Антропов Максим Викторович – ведущий инженер НПЦ-СПб ОКБ «ЛЭМЗ» ПАО «НПО «Алмаз».
E-mail: m.antropov@gskb.ru

Усс Владимир Станиславович – кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер НПЦ-СПб ОКБ «ЛЭМЗ» ПАО «НПО «Алмаз».
E-mail: npc-spb@gskb.ru

Analysis of the Application of Communication Technologies for Remote Identification of Unmanned Aerial Vehicles Using Electronic Identifiers in the Russian Federation

M. Antropov✉, V. Uss

R&D Center – St. Petersburg, LEMZ Division, PJSC “ALMAZ R&P Corp.”,
Saint Petersburg, 198095, Russian Federation

Task statement. *In the context of the rapid growth of the use of unmanned aerial vehicles, the problem of the lack of standards for their remote monitoring is becoming more urgent, and the insufficient provision of remote regions of the country with modern types of communication complicates the control over their use.* **The purpose** of the work is to analyze modern communication technologies (ADS-B, cellular network, satellite communication, low-power radio frequency technologies), which can ensure the construction of a reliable unified system of remote identification of unmanned aerial vehicles. **Novelty.** The conducted study is distinguished by the most complete analysis of the relevant aspects of the communication technologies under consideration. **Result:** an assessment of the applicability of the technologies under consideration for remote identification was obtained both at the present time and in the foreseeable future. **Practical relevance.** The results of the work can be used to build a national system for monitoring unmanned aerial vehicles.

Key words: remote identification, unmanned aerial vehicles, electronic identifier, unmanned aircraft systems, wireless communication technologies

Information about Authors

Antropov Maksim – Leading Engineer of the R&D Center – St. Petersburg, LEMZ Division, PJSC “ALMAZ R&P Corp.”. E-mail: m.antropov@gskb.ru

Uss Vladimir – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor. Leading Engineer of the R&D Center – St. Petersburg, LEMZ Division, PJSC “ALMAZ R&P Corp.”. E-mail: npc-spb@gskb.ru