Особенности развития сферы применения беспилотных летательных аппаратов в условиях применения технологии направленной связи

Плотников Герман Геннадьевич
профессор кафедры информационной безопасности Московского университета МВД России имени В.Я. Кикотя, gr175@mail.ru

Елин Владимир Михайлович
доцент кафедры информационной безопасности Московского университета МВД России имени В.Я. Кикотя, РЭУ имени Г.В.Плеханова, vmtlin@fa.ru

Каримов Андрей Куттузович
ст. преподаватель кафедры информационной безопасности Московского университета МВД России имени В.Я. Кикотя, andreynik.msk@yandex.ru

В статье рассматриваются особенности правового регулирования в сфере применения беспилотных летательных аппаратов, осуществляется сравнительный анализ подходов в России и США. Авторы раскрывают легальное определение беспилотного летательного аппарата, перспективы и технические аспекты управления беспилотными летательными аппаратами с применением технологиии интеграции многофункционального закрытого канала передачи данных MADL (Multifunction Advanced Data Link) в бортовые комплексы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Анализируются преимущества архитектуры направленного Ku-диапазона по сравнению со всенаправленными системами связи (Link 16) в условиях интенсивного радиоэлектронного противодействия и зон ограничения доступа A2/AD. Разработан математический аппарат моделирования энергетического бюджета радиолинии с использованием активных фазированных антенных решеток (АФАР) и алгоритмов динамического фазирования.
Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, MADL, АФАР, помехозащищенность, Ku-диапазон, сетецентрическая война, бюджет радиолинии.

Принятая в нашей стране Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года[1] предусматривает технологическое, научное, кадровое и производственное обеспечение развития беспилотной авиации путем создания линейки продуктов беспилотных авиационных систем, материалов, компонентов, комплектующих изделий, программных решений, технологий и услуг российского производства; создания специализированной системы сертификации беспилотных авиационных систем в рамках совершенствования и оптимизации действующих процедур сертификации с учетом риск-ориентированного подхода в зависимости от типа воздушного судна и ожидаемых условий эксплуатации; формирования системы обеспечения комплексной безопасности применения, учета и контроля беспилотных авиационных систем и их ключевых компонентов, включая системы искусственного интеллекта; а также создания системы непрерывного образования, подготовки кадров и обеспечения квалифицированными кадрами отрасли беспилотной авиации.

Стратегия классифицирует беспилотные воздушные суда на:

беспилотные воздушные суда самолетного типа;

беспилотные воздушные суда самолетного типа вертикального (укороченного) взлета и посадки;

беспилотные воздушные суда вертолетного типа;

беспилотные воздушные суда мультироторного типа;

другие беспилотные воздушные суда.

В качестве основных направлений деятельности беспилотных воздушных судов определены 8 следующих основных направлений применения беспилотных авиационных систем: сбор и передача данных, дистанционный мониторинг; проведение авиационной разведки и обеспечение охраны территории и объектов; внесение веществ; аэрологистика; работы по обеспечению связью; образовательная и спортивная деятельность; визуальные инсталляции; внешние работы. В будущем допускается возникновение направления "перевозка людей".

Действующая в Российской Федерации Национальная Технологическая Инициатива[2] представляет собой комплексную долгосрочную программу по созданию условий для обеспечения лидерства российских компаний на новых высокотехнологических рынках, определяющих структуру мировой экономики в ближайшие 15-20 лет. Национальная Технологическая Инициатива включает в себя комплекс проектов и программ, направленных на активное включение России в формирование стандартов рынков будущего и получение российскими компаниями на этих рынках значимой доли. Одной из этих программ является создание рынка AeroNet, направленного на развитие таких сегментов, как: дистанционное зондирование Земли и мониторинг; сельское хозяйство; перевозка грузов (в перспективе и людей); поиск и спасение; связь и коммуникации; развитие наземной инфраструктуры связи и глобальной системы управления воздушным движением; развитие технологий БАС; развитие законодательного регулирования авиационной отрасли; подготовка кадров.

Воздушный Кодекс РФ дает легальное определение беспилотного летательного аппарата исходя из базового понтия «воздушное судно»: воздушное судно, управляемое, контролируемое в полете пилотом, находящимся вне борта такого воздушного судна (внешний пилот)[3]. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) относитк беспилотным воздушным судам любое воздушное судно, предназначенное для полета без пилота на борту[4].

Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации используют понятие «летательный аппарат», а не «воздушное судно»[5]: беспилотный летательный аппарат

[1]Распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации РФ на период до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. и плана мероприятий по ее реализации

[2]Официальный сайт национально-технической инициативы . URL: http://www.nti2035.ru/nti/

[3]Воздушный кодекс Российской Федерации от 19 марта 1997 г. // СЗ РФ, 24.03.1997, № 12, ст. 1383.(п. 5 ст. 32 ВК РФ)

[4]Приложение 2 к Конвенции о международной гражданской авиации // Правила полетов

[5]3 Постановление Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. № 138 «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации» // СЗ РФ, 05.04.2010, № 14, ст. 1649.

определен как летательный аппарат, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов.

Нормами технического регулирования установлена трактовка БПЛА применительно к различным разновидностям таких летательных аппаратов, под которыми понимаются беспилотные воздушные суда без пилота (экипажа) на борту[1].

Следует иметь в виду, что в нашей стране действуют Правила учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 кг до 30 кг, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации[2]. Также Министерством транспорта РФ и Федерального агентства воздушного транспорта может быть применена юридическая ответственность за непостановку (несвоевременную постановку) на учет БПЛА.

По мнению российских исследователей[3] в данной сфере существует ряд правовых проблем, связанных, прежде всего с вопросами обеспечения безопасности окружающих; охраной частной жизни и интересов граждан; создание реальных условий для развития рынка БПЛА и их более эффективное применение; обеспечение совместных полетов пилотируемых и беспилотных аппаратов и др.

В то же время в зарубежных странах развитие беспилотной авиации напрямую связывают стратегическими планами повышения обороноспособности страны. Так, представленная в Таблице 1 Дорожная карта бюджетного финансирования беспилотных систем Министерства обороны на период 2014—2038[4] предполагает дальнейшее наращивание своих беспилотных возможностей и систем, которые будут охватывать все сферы боевых действий, включая киберпространство (в том числе в рамках создания отдельного боевого подразделения в армии). Согласно таблице программы бюджетного финансирования за 5 лет на различные виды беспилотных систем, на их доработку и интеграцию в вооруженные силы потрачено почти 24 млрд долл США, из которых основной объем в 21,7 млрд уйдет на финансирование беспилотных летательных систем и аппаратов.

Таблица 1
Программы бюджетного финансирования беспилотных систем США

FYDP		2014	2015	2016	2017	2018	Total
Air	RDTE	1189.4	1674.0	1521.4	1189.4	1087.9	6662.2
	Proc	1505.5	2010.2	1843.5	1870.7	2152.8	9382.7
	OM	1080.9	1135.2	1102.7	1156.9	1178.5	5654.1
Domain Total		3775.9	4819.4	4467.6	4217.0	4419.3	21699.1
FYDP		2014	2015	2016	2017	2018	Total
Ground	RDTE	6.5	19.1	13.6	11.1	10.6	60.9
	Proc	6.5	27.9	30.7	42.6	55.4	163.1
	OM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Domain Total		13.0	47.0	44.3	53.7	66.0	223.9
FYDP		2014	2015	2016	2017	2018	Total
Maritime	RDTE	62.8	54.8	66.1	81.0	87.2	351.9
	Proc	104.0	184.8	160.1	158.1	101.1	708.2
	OM	163.4	170.3	182.4	190.5	193.6	900.2
Domain Total		330.2	409.8	408.6	429.7	381.8	1960.2
FYDP		2014	2015	2016	2017	2018	Total
All Unmanned Systems	RDTE	1,258.7	1,747.9	1,601.1	1,281.5	1,185.7	7,075.0
	Proc	1,616.0	2,222.9	2,034.3	2,071.4	2,309.3	10,253.9
	OM	1,244.3	1,305.4	1,285.1	1,347.4	1,372.1	6,554.3
Domain Total		4,119.1	5,276.2	4,920.5	4,700.4	4,867.1	23,883.2

Note: Ground operations and maintenance (OM) is funded with overseas contingency operations funding.

США планируют дальнейшее наращивание своих беспилотных возможностей и систем, которые будут интегрированы в структуру вооруженных сил и армии США и будут охватывать все среды театра боевых действий, включая киберпространство. При этом Министерство обороны США понимает под беспилотными системами в первую очередь оружие и боевые системы способные действовать во всех средах театра боевых действий удаленно, автономно, по программе либо в «режиме он-лайн». При этом на воздушные беспилотные системы (UAS – см. рисунок 2) США тратят значительную часть инвестиций. Если говорить о перспективе в 10 лет Министерство обороны США становится основным потребителем беспилотных технологий, инвестируя в инновационные разработки в этой сфере вдвое больше чем весь рынок БПЛА в целом.

Современная доктрина ведения воздушного боя опирается на принципы сетецентрического управления, где боевая эффективность авиационной группы определяется скоростью, скрытностью и надежностью обмена тактической информацией. Долгое время основным стандартом обмена данными в тактических сетях ОВС НАТО являлся протокол Link 16. Однако изотропная (всенаправленная) диаграмма направленности излучения (ДНИ) систем Link 16 демаскирует носитель в радиочастотном спектре и уязвима для средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ).

Развитие малозаметных беспилотных авиационных комплексов (БАК) тяжелого и среднего классов потребовало внедрения принципиально новых интерфейсов связи. Наиболее перспективным решением выступает технология связи Multifunction Advanced Data Link (MADL), разработанная Northrop Grumman. Внедрение MADL на беспилотные платформы открывает возможности для автономного и гибридного взаимодействия в конфликтных средах[5].

В основе функционирования MADL лежит использование активных фазированных антенных решеток (АФАР), работающих в высокочастотном Ku-диапазоне (12–18 ГГц). Вместо изотропного излучения MADL формирует узконаправленные радиолучи, ориентированные строго на приемные антенны взаимодействующих объектов. Применение данной архитектуры на БПЛА обеспечивает достижение трех критически важных параметров[6]:

Скрытность (LPI/LPD): Минимизация боковых лепестков ДНИ делает пеленгацию передатчика БПЛА средствами радиотехнической разведки (РТР) противника маловероятной вне оси луча.

Помехозащищенность (Anti-Jamming): Пространственная фильтрация позволяет эффективно отсекать преднамеренные помехи РЭБ, если источник помехи пространственно разнесен с передающим узлом.

Высокая пропускная способность: Использование Ku-диапазона обеспечивает передачу данных высокой плотности: многоспектрального видеопотока и параметрической телеметрии.

Обеспечение устойчивости связи в Ku-диапазоне (рабочая частота 15 ГГц, длина волны 2 см) требует строгого расчета энергетического бюджета раиолинии (Link Budget) и алгоритмов динамического кодирования.

Мощность сигнала, поступающего на вход приемника БПЛА Prx рассчитывается на основе модифицированного уравнения передачи Фрииса:

$$P_{rx} = P_{tx}G_{tx}G_{rx}\left(\frac{\lambda}{4\pi R}\right)^2 - L_b - L_{atm} - L_d - L_{pol}(1)$$

где Ptx – мощность передатчика; Gtx и Grx – коэффициенты усиления передающей и приемной АФАР; Latm – атмосферное затухание на рабочих частотах; Ld – потери на аппаратную рассогласованность тракта; Lpol – потери из-за рассогласования поляризации антенн.

Базовые потери в свободном пространстве Lb определяются расстоянием между объектами R и частотой несущей f:

$$L_b = 20log_{10}(R) + 20log_{10}(f) + 20log_{10}\left(\frac{4\pi}{c}\right)(2)$$

Коэффициент усиления плоской эквидистантой АФАР из N излучателей при направлении наведения луча (θ, φ) аппроксимируется как:
$G(\theta,\phi)\ 10log_{10}(N\eta g\{\theta,\phi\})(3)$

где η – коэффициент полезного действия антенной решетки; g – диаграмма направленности единичного излучателя.

[1]ГОСТ Р 56122-2014 Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования

[2]Постановление Правительства РФ от 25.05.2019 № 658 «Об утверждении Правил учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации»

[3]Грищенко, Г. А. Правовое регулирование беспилотных летательных аппаратов: российский подход и мировая практика / Г. А. Грищенко // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2019. – № 12(64). – С. 129-136. – DOI 10.17803/2311-5998.2019.64.12.129-136. – EDN SVQODN.

[4]БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ США: ФИНАНСИРОВАНИЕ И ЦЕЛИ// https://defence.mgimo.ru/?q=node/32976&utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru

[5]*Understanding Voice and Data Link Networking.* Northrop Grumman Guide to Secure Tactical Data Links. — San Diego, CA : Northrop Grumman Corporation, 2014. — 142 p.

[6]*Garza V. R., Wood B., Minnis M.* F-35 MADL Data Integration for the Surface Force. — Monterey, California : Naval Postgraduate School, 2019. — 12 p. — URL: nps.edu (дата обращения: 20.09.2026).

Коэффициент помехозащищенности канала определяется отношением мощности полезного сигнала к суммарной мощности теплового шума и преднамеренной помехи на входе демодулятора (SIR – signal to interference and noise ratio):

$$SIR = \frac{P_{tx}G_{tx}G_{rx}L_b^{-1}}{kT\Delta f + P_j G_j G_{rx} L_b^{-1}} (4)$$

где *k* – постоянная Больцмана; *T* – эквивалентная шумовая температура приемной системы; ∆f – полоса частот. Параметры с индексом *j* относятся к постановщику помех (РЭБ).

Из формулы следует, что за счет пространственной фильтрации АФАР приемное усиление в направлении источника помехи падает до уровня боковых лепестков, что минимизирует значение и срывает подавление.

Для удержания узкого луча в условиях пространственной эволюции БПЛА углы наведения пересчитываются с субмикросекундным шагом. Комплексный вектор весовых коэффициентов фазирования для элементов решетки задается как:

$$W = aexp\left(-j\frac{2\pi}{\lambda}(xsin\theta cos\phi + ysin\theta sin\phi)\right) (5)$$

где *a* – амплитудное распределение для снижения уровня боковых лепестков; (x.y) – пространственные координаты излучателей АФАР.

Вектор (θ,ф) непрерывно корректируется матрицей поворота, получаемой от инерциальной навигационной системы БПЛА.

В рамках концепций взаимодействия пилотируемых и беспилотных платформ (MUM-T) БПЛА выполняют роль передового эшелона сенсоров. Интеграция MADL позволяет БПЛА выдвигаться вглубь зоны ПВО противника и передавать целеуказание на борт ведущего истребителя 5-го поколения в режиме полного радиомолчания последнего. Пилот истребителя осуществляет управление тактической ситуацией, не демаскируя свое местоположение включением бортовой РЛС.

При потере связи с наземным командным пунктом или спутниковой группировкой БПЛА под управлением локальных алгоритмов искусственного интеллекта способны развертывать динамические Mesh-сети. По каналу MADL происходит мгновенный обмен полетными заданиями, распределение обнаруженных целей между ударными единицами роя и координация противозенитных маневров без участия человека-оператора.

Ограничением Ku-диапазона является распространение радиоволн преимущественно в пределах прямой видимости (Line-of-Sight). Высотные БПЛА большой продолжительности полета (HALE), несущие ретрансляционные шлюзы, обеспечивают защищенный мост передачи данных между малозаметными авиационными комплексами и надводными кораблями (например, оснащенными БИУС Aegis), реализуя единое информационное пространство.

Масштабирование MADL на беспилотные платформы ограничено жесткими инженерными рамками SWaP (Size, Weight, and Power). Необходимость размещения до 6 АФАР по периметру планера для обеспечения сферического покрытия и высокая энергоемкость вычислительных блоков обработки сигналов требуют использования носителей исключительно тяжелого класса.

Дополнительной проблемой является высокая динамика пространственного маневрирования БПЛА, требующая микросекундной юстировки фазовращателей АФАР для удержания луча на цели.

Технология направленной тактической связи MADL является важнейшим компонентом трансформации беспилотной авиации из средств изолированной разведки в интегрированные узлы сетецентрических боевых систем. Внедрение MADL позволяет нивелировать уязвимости БПЛА перед современными комплексами радиоэлектронного подавления и скрытно координировать действия автономных группировок. Развитие данного направления в ближайшей перспективе будет связано с миниатюризацией аппаратных компонентов АФАР и оптимизацией математических моделей динамического синтеза луча.

Возвращаясь к ситуации в нашей стране следует иметь в виду, что совокупная доля около 200 (в 2023 году) промышленных изготовителей беспилотных авиационных и комплектующих, организаций, осуществляющих научно-производственную, проектную и научную деятельность, отраслевых образовательных организаций, осуществляющих свою деятельность в отрасли беспилотной авиации в валовом внутреннем продукте Российской Федерации составляет менее 0,1 процента. Каждый третий участник рынка является разработчиком и (или) изготовителем беспилотных авиационных систем. Доля продаж продукции российских изготовителей в гражданском сегменте российского рынка, по оценкам экспертов, составляет 22 процента общего объема российского потребления. Объем экспорта беспилотных авиационных систем в 2018 — 2022 годах составил не более 600 млн. рублей.

В отрасли беспилотной авиации государственные корпорации и организации с государственным участием осуществляют деятельность преимущественно в роли заказчиков, негосударственные организации - в роли разработчиков и изготовителей.

Изложенное позволяет сделать вывод о том, что дальнейшее развитие технологий беспилотных летальных аппаратов требует не только развития производственной базы, осуществляемой разработчиками, изготовителями и эксплуатантами беспилотных авиационных систем построение инфраструктуры, подготовку персонала, но также межотраслевой характер взаимодействия с участием разработчиков и производителей материалов, комплектующих изделий, программного обеспечения, полезной нагрузки и компонентов, обеспечивающих эксплуатацию беспилотных авиационных систем.

Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации РФ на период до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. и плана мероприятий по ее реализации

2. Официальный сайт национально-технической инициативы . URL: http://www.nti2035.ru/nti/

3. Воздушный кодекс Российской Федерации от 19 марта 1997 г. // СЗ РФ, 24.03.1997, № 12, ст. 1383.(п. 5 ст. 32 ВК РФ)

4. Приложение 2 к Конвенции о международной гражданской авиации // Правила полетов

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 марта 2010 г. № 138 «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации» // СЗ РФ, 05.04.2010, № 14, ст. 1649.

6. ГОСТ Р 56122-2014 Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования

7. Постановление Правительства РФ от 25.05.2019 № 658 «Об утверждении Правил учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации»

8. Грищенко, Г. А. Правовое регулирование беспилотных летательных аппаратов: российский подход и мировая практика / Г. А. Грищенко // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). – 2019. – № 12(64). – С. 129-136. – DOI 10.17803/2311-5998.2019.64.12.129-136. – EDN SVQODN.

9. Беспилотные системы США: финансирование и цели// https://defence.mgimo.ru/?q=node/32976&utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru

10. Understanding Voice and Data Link Networking. Northrop Grumman Guide to Secure Tactical Data Links. — San Diego, CA : Northrop Grumman Corporation, 2014. — 142 p.

11. Garza V. R., Wood B., Minnis M. F-35 MADL Data Integration for the Surface Force. — Monterey, California : Naval Postgraduate School, 2019. — 12 p. — URL: nps.edu (дата обращения: 20.09.2026).

Features of the development of the field of application of unmanned aerial vehicles under conditions involving the use of directed-link communication technology.

Plotnikov G.G., Elin V.M., Karimov A.K.

V.Ya. Kikot Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Plekhanov Russian University of Economics

The article examines the specifics of legal regulation in the field of unmanned aerial vehicles, and provides a comparative analysis of approaches in Russia and the United States. The authors reveal the legal definition of an unmanned aerial vehicle, the prospects and technical aspects of controlling unmanned aerial vehicles using technology and integration of a multifunctional closed data transmission channel MADL (Multifunctional Advanced Data Link) into on-board complexes of unmanned aerial vehicles (UAVs). The advantages of the directional Ku-band architecture are analyzed in comparison with omnidirectional communication systems (Link 16) under conditions of intense electronic countermeasures and A2/AD access restriction zones. A mathematical framework for modeling the energy budget of a radio link using active phased array antennas (APAA) and dynamic phasing algorithms has been developed.

Keywords: unmanned aerial vehicles, MADL, AF.

References

1. Directive of the Government of the Russian Federation dated June 21, 2023, No. 1630-r, "On Approval of the Strategy for the Development of Unmanned Aviation in the

Russian Federation for the Period up to 2030 and the Outlook up to 2035, and the Action Plan for Its Implementation."
2. Official website of the National Technology Initiative (NTI). URL: http://www.nti2035.ru/nti/
3. Air Code of the Russian Federation dated March 19, 1997 // Collected Legislation of the Russian Federation, March 24, 1997, No. 12, Article 1383 (Clause 5, Article 32 of the Air Code of the Russian Federation).
4. Annex 2 to the Convention on International Civil Aviation // Rules of the Air.
5. Decree of the Government of the Russian Federation dated March 11, 2010, No. 138, "On Approval of the Federal Rules for the Use of the Airspace of the Russian Federation" // Collected Legislation of the Russian Federation, April 5, 2010, No. 14, Article 1649.
6. GOST R 56122-2014: Air Transport — Unmanned Aircraft Systems — General Requirements.
7. Decree of the Government of the Russian Federation dated May 25, 2019, No. 658, "On Approval of the Rules for the Registration of Unmanned Civil Aircraft with a Maximum Take-off Mass Ranging from 0.25 Kilograms to 30 Kilograms, Imported into or Manufactured within the Russian Federation."
8. Grishchenko, G. A. "Legal Regulation of Unmanned Aerial Vehicles: The Russian Approach and Global Practice" // Bulletin of the O. E. Kutafin University (MSAL). – 2019. – No. 12(64). – pp. 129–136. – DOI 10.17803/2311-5998.2019.64.12.129-136. – EDN SVQODN.
9. Unmanned Systems of the USA: Funding and Objectives // https://defence.mgimo.ru/?q=node/32976&utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru
10. Understanding Voice and Data Link Networking. Northrop Grumman Guide to Secure Tactical Data Links. — San Diego, CA : Northrop Grumman Corporation, 2014. — 142 p.
11. Garza V. R., Wood B., Minnis M. F-35 MADL Data Integration for the Surface Force. — Monterey, California : Naval Postgraduate School, 2019. — 12 p. — URL: nps.edu (accessed: 20.09.2026).