

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Научная статья
УДК 358.236, 621.396
DOI: [10.34759/trd-2022-125-16](https://doi.org/10.34759/trd-2022-125-16)

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Александр Владиславович Ананьев^{1✉}, Кирилл Сергеевич Иванников²,
Сергей Валентинович Филатов³

¹Научно-производственное предприятие Акционерное общество «Полет»,
Нижний Новгород, Россия

²Научно-производственное предприятие «Радар ммс»,
Санкт-Петербург, Россия

³ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А.
Гагарина»,
Воронеж, Россия

¹sasha303_75@mail.ru✉

Аннотация. Проведен анализ комплексов, формирующих воздушный эшелон связи. На основании проведенного анализа в развитие структуры создаваемой объединенной автоматизированной цифровой системы связи Вооружённых Сил Российской Федерации для воздушного эшелона показана актуальность создания и сформулированы принципы построения систем связи на базе беспилотных

летательных аппаратов. Предложенные принципы построения отражают определенный порядок и установившиеся взгляды по вопросам построения систем связи военного назначения. Полученные результаты являются промежуточным вариантом обобщения авторских исследований в области построения систем связи. В целом изложенные принципы могут быть положены в основу практической работы по построению систем связи на базе беспилотных летательных аппаратов и являются отправной точкой для формирования ее технического облика на этапе эскизного проекта.

Ключевые слова: система связи, беспилотный летательный аппарат, принципы построения

Для цитирования: Ананьев А.В., Иванников К.С., Филатов С.В. Основные принципы построения систем связи на базе беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2022 № 125. DOI: [10.34759/trd-2022-125-16](https://doi.org/10.34759/trd-2022-125-16)

INFORMATICS, COMPUTATION ENGINEERING AND MANAGEMENT

Original article

CONSTRUCTION BASIC PRINCIPLES OF COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON UNMANNED AERIAL VEHICLES

Alexander V Ananjev^{1✉}, Kirill S. Ivannikov², Sergey V. Filatov³

¹Joint-stock company «Scientific and production enterprise «Polet»,
Nizhny Novgorod, Russia

Voronezh, Russia

²Joint-stock company «Scientific and production enterprise «Radar-mms»,
Saint Petersburg, Russia

³MESC Air Force «Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovskii and Yu.A. Gagarin»,
Voronezh, Russia

¹sasha303_75@mail.ru✉

Abstract. The research object in the article is air communication element: a communication system based on unmanned aerial vehicles, the relevance of which is justified in the previous works of the authors. However, despite the variety of related studies conducted, there are a fundamental questions number, without answering which it is impossible to understand the essence of creating a communication system based on unmanned aerial vehicles and determine its final purpose. So, on the one hand, unmanned aerial vehicles are an extremely important resource, in practice, which will always be in short supply. Therefore, talking about a full-fledged independent communication system based on unmanned aerial vehicles is very doubtful. On the other hand, there are very striking examples of the practical use of unmanned aerial vehicles as communications repeaters.

It is only clear that the main condition for creating a communication system based on unmanned aerial vehicles is its organic inclusion in the overall communication system. Given the above, the subject of research article are the principles of creating a communication system based on unmanned aerial vehicles.

Accordingly, the article purpose is to develop them based on a generalization of the existing backlog on known and promising technical and organizational and technical solutions in the field of communications.

In the interests of developing the principles, first of all, the general scientific method was used, which consists in systematizing the existing knowledge, as well as the universal method - the method of analysis.

The result of the work is a generalized list of principles for building a communication system based on unmanned aerial vehicles.

A number of principles are formed in the development of the previously existing ones. At the same time, new principles are proposed: reasonable self-sufficiency, current interaction and evolutionary creation, etc.

The developed principles can be used as the basis for practical work on building a communication system based on unmanned aerial vehicles and are the starting point for the formation of its technical appearance.

Keywords: communication system, unmanned aerial vehicle, construction principles

For citation: Ananiev A.V., Ivannikov K.S., Filatov S.V. Construction basic principles of communication systems based on unmanned aerial vehicles. *Trudy MAI*, 2022, no. 125.

DOI: [10.34759/trd-2022-125-16](https://doi.org/10.34759/trd-2022-125-16)

Введение

Эффективная связь группировки войск (сил) на театре военных действий является залогом успешного ведения боевых действий [1-3]. Повышение значимости

эффективной связи в явном виде также прослеживается в содержании названий современных концепций ведения боевых действий на основе сетевых технологий, а именно сетцентрических войн (network-centric warfare). Центральной идеей концепции сетцентрических войн [4] является создание *сетцентрической среды*, или иначе области, которая будет включать силы и средства группировки войск (сил) на театре военных действий, формирования которой выполняют боевые задачи в едином информационном пространстве (ЕИП). На практике возможности наращивания качества предоставляемых услуг связи планируется реализовать в разрабатываемой объединенной автоматизированной цифровой системы связи (ОАЦСС) ВС РФ, одним из ключевых компонентов которой является воздушный эшелон (ВЭ) [5, 6], исследованию которого посвящены труды многих ученых.

Направления исследований воздушного эшелона многообразны и включают следующее. Особое внимание уделяется исследованиям канального уровня: линиям передачи данных «земля-борт-земля» [7, 14]. Задачами таких исследований является оптимизация сигнальных созвездий, порядка и содержания информационного обмена и т.д. Кроме этого, исследований направлены на повышения качества воздушной связи за счет оптимизации бортового радиоэлектронного оборудования [8]. На более высоком системном уровне воздушный эшелон рассматривается как сеть связи [9, 10, 13, 14], для которой исследуются алгоритмы маршрутизации [9] и разрабатываются специализированные модели [11, 12]. Приведенные источники в общем характеризуют подходы к исследованию систем связи беспилотных летательных аппаратов (БпЛА).

Для уяснения состояния научного обеспечения ВЭ специального назначения рассмотрим его обобщенный состав. В настоящее время ВЭ ОАЦСС ВС РФ преимущественно формируется пилотируемыми воздушными судами, включающими ударные многофункциональные авиационные комплексы, боевые и транспортные вертолеты, радиосвязная аппаратура которых выпускается в исполнении, *обеспечивающем возможность ретрансляции*.

Отдельно стоящими элементами в составе ВЭ ОАЦСС ВС РФ являются самолеты на базе транспортных воздушных судов, включающие самолеты радио и радиотехнической разведки, радиоэлектронной борьбы, наблюдения и целеуказания [15-19], решающие задачи ведения комплексной оптической и радиотехнической разведки, для последующего обеспечения разведанными группировок войск (сил), что само по себе требует многофункционального радиосвязного компонента бортового радиоэлектронного оборудования. Также следует вспомнить о постоянно совершенствующемся самостоятельном классе патрульных и противолодочных самолетов [20-22], интегрируемых по функционалу и возможностям радиосвязи в автоматизированные системы военно-морского флота (военно-морские силы). Безусловно одним из наиболее значимых компонентов воздушного эшелона являются комплексы дальнего радиолокационного обнаружения (ДРЛО) [23].

Специализированными пунктами управления и узлами связи воздушного базирования являются самолеты-воздушные пункты управления (ВзПУ), предназначенные решения задач управления группировками войск (сил) до стратегического уровня включительно [24, 25]. Основным назначением ВзПУ

является повышение качества управления боевыми действиями и живучести системы управления в условиях конфликтов высокотехнологичных противником, в том числе способных применить ядерное оружие.

Для наращивания возможностей по связи, в настоящее время также рассматривается применение в качестве ретрансляторов - аэростатов [26, 27], актуальность использования которых заключается в расширении функциональных возможностей ретрансляции в части увеличения количества образуемых трактов ретрансляции для обеспечения связи в автоматизированных системах связи общего применения при связи с удаленными подвижными и стационарными объектами.

Изложенный состав комплексов, формировавших ВЭ ОАЦСС целые десятилетия, существенно расширяется по мере поступления на вооружение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что в свою очередь обращает внимание специалистов радиосвязи и является основным объектом внимания предлагаемой авторами статьи.

Слабые стороны традиционных компонентов ВЭ ОАЦСС [28], представленных выше по тексту и опережающие темпы развития научных направлений, связанных с БПЛА, в том числе в интересах обороны РФ побудило к закономерному интересу создания особого беспилотного компонента связи в составе ОАЦСС [29-33].

В работе [28] новому компоненту системы связи ВЭ ОАЦСС – аэромобильной сети связи (АСС), образуемой БПЛА были определены следующие задачи:

- своевременное устранение «мертвых зон» связи наземных эшелонов ОАЦСС

(мобильного и стационарного) в случае вывода из строя их компонентов противником;

- организация воздушного эшелона ОАЦСС при ретрансляции информационных потоков в условиях высокой эффективности средств ПВО противника, затрудняющей (исключающей) применение традиционных воздушных ретрансляторов (вертолетов, самолетов, аэростатов);

- организация связи при затруднении (невозможности) применения наземных средств связи в условиях труднопроходимой (заболоченной, горной, лесистой) местности, в условиях крайнего севера.

На основании требований, предъявляемых к системам связи [34, 35], а также требований к надсистемам связи в работах [28, 36] сформированы многокритериальные иерархии принятия решения, с использованием которых обоснованы основные преимущества АСС по отношению к другим связным компонентам воздушного эшелона (ВЭ) разрабатываемой ОАЦСС ВС РФ [5].

Резюмируя изложенное, можно утверждать, что с позиций системного анализа объективно доказана необходимость проведения работ по изучению, разработке и внедрению в практику обособленного элемента системы связи (СС) на базе БпЛА. Вместе с этим, несмотря на многообразие проведенных исследований [7-14], возникает целый ряд фундаментальных вопросов, без ответа на которые невозможно уяснить сущность создания СС на базе БпЛА и ее окончательное предназначение. Так, с одной стороны, БпЛА – это крайне важный ресурс, которого на практике всегда будет недостаточно. Поэтому речь о полноценной самостоятельной СС на

базе БпЛА очень сомнительна. С другой стороны, есть очень яркие примеры практического использования БпЛА в качестве ретрансляторов [37, 38]. Однозначно лишь то, что основным условием создания СС на БпЛА является ее органичное включение в общую систему связи межвидовой группировки войск (сил) (МГВ(С)). Концептуальной основой для разработки научно-методического аппарата создания СС на базе БпЛА должны стать *принципы* ее построения, сформированные на основе имеющейся практики специального применения СС, теоретических основ построения СС трудах [35, 36], а самое главное - перспективные технических, организационно-технических и организационных решений, которые объективно повысят эффективность ВЭ ОАЦСС ВС РФ. Уточним, что под *принципами построения* будем понимать, прежде всего, **устоявшиеся постулаты систем связи и управления как объектов боевых систем** [36].

СС на базе БпЛА является принципиально новым объектом исследований и при разработке принципов ее построения отсутствует накопленный опыт практического применения и научных исследований. Однако при этом существует возможность трансформации на СС на базе БпЛА, накопленных за время, предшествующее их созданию известных принципов построения систем военной связи, отраженных в трудах [35, 36].

В соответствии с [36] учтены четыре группы принципов: общесистемной основы; общеспециальной основы; общесетевой основы; общей основы построения автоматизированных систем военной связи (автоматизированных систем управления военной связью).

1. Принципы общесистемной основы построения СС на базе БпЛА

Общесистемную основу построения систем военной связи (систем управления военной связью) составляют следующие принципы.

Диалектический принцип развития, в соответствии с которым СС на базе БпЛА должна рассматриваться как постоянно развивающаяся система. Одним из способов реализации такого принципа, например, является применение максимально возможного объема программируемых компонентов радиоэлектронной аппаратуры СС на базе БпЛА, в том числе с запасом перепрограммируемого ресурса. При этом необходимо учесть, что развитие – это затратное мероприятие, осуществляемое в условиях финансовых и прочих ресурсных ограничений, что позволяет достигать желаемого уровня развития только эволюционным путем [38, 40]. Эволюционный путь на системном уровне, как вариант может быть выражен тремя итерационными, в смысле возвращения, этапами, включающими состояния: «единая унифицированная ситуационная осведомленность», «ситуационная осведомленность реального времени» и «ситуационная реакция реального времени», которые в свою очередь соответствуют концепциям: «сетцентрическая система» с основным системным свойством: интеграция всех сил и средств в едином информационном пространстве; «информационно-центрическая система», характеризующаяся: информационным обменом в реальном масштабе времени; высокотехнологичными системами сбора, обработки данных, моделирования и поддержки принятия решения; «знание-центрическая система», характеризующаяся

прогнозированием боевой обстановки и реализацией технологий искусственного интеллекта, а также передачей знаний вместо передачи информации [40].

Принцип системности и комплексности. Основой построения систем связи являются системная терминология и объективный учет критериев эффективности. Основу терминологии СС на базе БПЛА должна составить система стандартов, разрабатываемой ОАЦСС ВС РФ [5]. В природе не существует однокритериальных задач, а интегральные критерии, приводят к маскированию отдельных компонент, поэтому единственно правильной является многокритериальная оценка [41], обеспечивающая объективный учет критериев эффективности.

Кроме этого, при реализации принципа системности и комплексности необходимо учесть основополагающий постулат системного анализа, заключающийся в оценке эффективности систем с позиций надсистем, т.е. надо стремиться к тому, чтобы оценивать СС на базе БПЛА с позиций вклада в эффективность функционирования ВЭ ОАЦСС, ОАЦСС, систему управления МГВ(С) и в конечном итоге в боевые возможности (показатели) МГВ(С) [36].

Принцип целостности (единства). СС на базе БПЛА должна строиться как целостная, не имеющая разрывов в построении организационно-техническая система. Целостность СС на базе БПЛА, применительно к МГВ(С) предполагает удовлетворение потребностей в управлении всеми соединениями (частями) МГВ(С) [40], а также управление силами и средствами связи на базе единых методологических взглядов и требований. На этапе решения проблемы создания СС на базе БПЛА целостность ее построения может быть обеспечена с использованием

военно-логического анализа и построения структурных и математических моделей.

Принцип относительно непрерывного обновления, в соответствии с которым никогда нельзя считать построение СС на базе БпЛА в том или ином варианте в различных видах военного управления и уровнях ее иерархии полностью законченным. Данный принцип может быть поддержан модульным построением СС на базе БпЛА, обеспечивающим прозрачную декомпозицию [39, 40], и, как следствие, ее оперативное, рациональное обновление.

Принцип универсальности. Достижение принципа универсальности может обеспечиваться как технической основой СС за счет применения унифицированной аппаратуры связи, так и за счет организационно-штатных мероприятий. Гибкость настроек СС, и как следствие универсальность, может обеспечиваться применением технологий программно-определяемого радио (SDR) и сетевого оборудования [42].

Принцип направленности (ориентации). Достижение данного принципа прежде всего основано на анализе разрушающих воздействий на основной компонент СС: АСС БпЛА [31] и учета полного варианта специфических задач, например при задействовании в ходе боевых действий МГВ(С) подразделений армейской авиации [43-45].

2. Принципы общеспециальной основы построения СС на базе БпЛА

Принцип недопущения иностранного превосходства. Сформулированный принцип означает, что в мирное время тактико-технические характеристики СС на базе БпЛА не должно допускать тотального превосходства систем противодействия

связи МГВ(С) со стороны противника, в том числе огневого и радиоэлектронного. Реализации данного принципа предполагает создание современных отечественных интегральных микросхем, что в свою очередь невозможно без ускорения производства радиоэлектронного аппаратуры и импортозамещения с использованием отечественных систем автоматизированного проектирования [46].

Принцип опережающей готовности. Развертывание и готовность к эксплуатации и функционированию систем (подсистем) связи должны опережать в необходимой мере развертывание других (соответствующих) систем военного управления. Собственно говоря, это один из поводов создания СС на базе БпЛА [28].

Принцип централизации построения (централизованного управления). СС на базе БпЛА должна быть под непосредственным управлением командующего МГВ(С), и, при необходимости, часть ее ресурсов предоставляться видовым формированиям. В целом состав, порядок применения СС должны обеспечить управление боевой системой, например, формированиями беспилотных летательных аппаратов при подготовке и в ходе выполнения боевых задач совместно с частями (соединениями) оперативно-тактической и армейской авиации в интересах авиации или общевойскового командира [47].

Принцип функциональной параллельности построения. СС на базе БпЛА, в виду высокой уязвимости БпЛА и каналов управления ими должна быть обязательно дублирована другими системами связи и развертываться по возможности одновременно с ними.

Территориально-зональный принцип построения, в соответствии с которым должно быть предусмотрено развертывание в различных зонах (регионах) Российской Федерации систем связи общего пользования. Это означает, что СС на базе БпЛА должна быть способна функционировать практически во всех климатических условиях, включая высокие широты, морской климат и районы с аномально высокими и аномально низкими температурами.

Принцип системной пропускной способности. В СС на базе БпЛА данный принцип можно реализовать с использованием теории рисков [31] и рационального парирования разрушающих воздействий (РВ) естественного и искусственного происхождения, что максимально повышает устойчивость функционирования, в том числе за счет интеллектуализации [48].

Принцип живучести. Живучесть является одним из компонентов интегральной устойчивости [31] и для СС на базе БпЛА, являющейся сложной технической системой и обеспечивается на всех этапах ее создания [49]: структурном, параметрическом, организационно-техническом [30].

3. Принципы общесетевой основы построения СС на базе БпЛА

Принцип максимального соответствия выбранного варианта построения СС на базе БпЛА оперативным условиям и потребностям информационного обмена, в соответствии с которым она должна строиться и изменять свою архитектуру, согласно конкретной обстановке различных эпизодов действий МГВ(С).

Принцип комплексного использования потенциала подразделений БпЛА. Очевидно, что в случае принятия решения на применения СС на базе БпЛА, в

интересах включения ее в систему связи и управления МГВ(С), это будет происходить в условиях жесткого ограничения количества задействуемых БпЛА. В то же время известно, что в настоящее время в систему связи воздушных судов закладывается возможность ретрансляции. Таким образом, для построения СС на базе БпЛА необходимо использовать имеющиеся БпЛА ударного и специального назначения (разведки, РЭБ, и др.), с использованием метода обоснования рационального выбора типа БпЛА [50], и, при необходимости, повышать качество связи путем включения БпЛА с полезной нагрузкой, предназначенной исключительно для ретрансляции информационных потоков.

Принцип главной составляющей. Для каждого этапа функционирования СС на базе БпЛА должны быть выделены основная и обеспечивающая составляющие. Например, некоторый резерв БпЛА МГВ(С) составит основу АСС, а дополнительные БпЛА (из состава МГВ(С)), находящиеся в требуемом территориально районе, должны выполнять дублирование ретрансляции информационных потоков для повышения устойчивости функционирования направлений связи. Кроме того, данный принцип говорит о том, что среди всех критериев, согласно которым оптимизируется система, существует определяющий, в случае СС и БУ на базе БпЛА – это устойчивость функционирования в условиях разрушающих воздействий.

Принцип динамического распределения ресурсов СС на базе БпЛА, заключающийся, прежде всего, в перераспределении информационных потоков в АСС БпЛА на различных этапах применения при различных степенях

информационной неопределенности [51, 52], что в первую очередь направлено на снижение катастрофического риска обрушения АСС БпЛА [31].

Принцип рассредоточенного резерва, когда необходимо все силы и средства, составляющие ресурс СС на базе БпЛА, рассредоточить так, чтобы обеспечить их своевременное и качественное применение независимо от места, в котором потребовалось функционирование данного резерва, и исключить его одновременное поражение в каждом районе размещения сил и средств резерва в составе МГВ(С).

Принцип максимального использования ресурсов сети связи общего пользования. При создании СС на базе БпЛА может быть целесообразным использование сети связи общего пользования РФ, следовательно, необходимо предусмотреть соответствующие варианты сопряжения.

Принцип рационального размещения объектов транспортной сети, образуемой АСС СС на базе БпЛА. Выбор места (района) размещения элементов АСС должен быть осуществлен с учетом оптимизации структуры и состава системы связи МГВ(С) и результатов прогнозирования распределения ударов противника по объектам первоочередного нападения, и, в соответствии с этим, предполагаемых зон различного заражения, затопления, пожаров и других видов катастроф [35, 51, 52].

Принцип учета неопределенности прогноза, согласно которому необходимо учитывать результаты прогнозирования возможного функционирования АСС на базе БпЛА еще на этапе планирования в виде дополнительного выделения резервов в интересах управления связью [51], а также в условиях нечеткости разведанных [52].

4. Принципы общей основы СС на базе БпЛА

Согласно [35] в принципы общей основы систем военной связи включены принципы использования новых информационных технологий и систем, принцип относительно непрерывного развития, комплексности задач и функциональных подсистем, информационной взаимосвязи задач, автоматизации движения информации, однократного ввода данных, внутренней и внешней совместимости и согласованности, типизации и унификации, содержание которых понятно из формулировки и также в полной мере распространяется на СС МГВ(С) на базе БпЛА.

Рассмотрим отдельно и сформулируем новые, на наш взгляд, особо значимые принципы.

Принцип наличия объективных противоречий, пожалуй, один из основных принципов внедрения научных изысканий в процесс создания СС на базе БпЛА. Только всеобъемлющее разрешение противоречий: технических, теории и практики применения, научно-методических, позволит создать рациональный (оптимальный) вариант такого сложного технического объекта. Противоречия в создании СС на базе БпЛА не могут быть устранены одновременно, поэтому актуален эволюционный путь [39, 53], который позволит одновременно эффективно использовать устаревающие и вновь вводимые технические решения.

Принцип текущего взаимодействия (текущего предоставления услуг связи), заключающийся во временном предоставлении услуг связи подразделениям (частям,

соединениям) в рамках плана связи МГВ(С) на текущий период. Данный принцип означает то, что СС на базе БПЛА не развертывается в обязательном порядке для всей МГВ(С), так ее подразделения (части, соединения) МГВ(С) во многом сами способны обеспечить свои потребности связи, а задействуется только в тех ситуациях, когда объективно необходима.

Принцип эволюционного создания, заключающийся в том, что процесс создания СС на базе БПЛА, ввиду финансовых и производственных ограничений, разбивается на несколько этапов. В ходе процесса создания начинается от начального варианта СС на базе БПЛА, образуемый штатными средствами связи МГВ(С) путем организационно-связных мероприятий. На всех этапах необходимо обеспечить вложенность систем при условии достижения максимальной эффективности СС в условиях финансовых ограничений [40].

Принцип повышения возможностей бортовой обработки информации, реализуемый новыми технологиями. Так, например, на борту БПЛА может производиться вскрытие внутриимпульсной структуры сигналов радиолокационных станций из состава систем противодействия БПЛА. В то время, как на земле такая процедура реализуется с использованием анализаторов спектра [54], на борту такие решения неприемлемы, как минимум, по массогабаритным показателям. В этом случае повысить возможности бортовой обработки можно за счет реализации микроминиатюрных датчиков анализа внутриимпульсной частотной модуляции [55].

Принцип максимального использования радиочастотного спектра.

Сущность данного принципа заключается в расширении используемого радиодиапазона диапазона БпЛА. Так, например, представляет интерес использования СС на базе БпЛА ДКМВ диапазона длин волн. Однако БпЛА, как правило, выполняются из композитных материалов, что исключает возможность использования конструкции планера в качестве «земли», а значит традиционные антенны для авиационной КВ-радиосвязи не могут быть использованы. В этом случае могут быть реализованы оригинальные решения магнитных резонансных антенн [56, 57], а также устройств для их настройки [58]. С использованием геометрической теории дифракции доказано, что понижение диапазона рабочих частот позволит использовать дифракционные свойства радиоволн при использовании КВ-радиоволн, распространяющихся вдоль земной поверхности [59], что в свою очередь повысит устойчивость радиосвязи в условиях закрытых радиотрасс, характерных для случаев специального применения подразделений БпЛА [47].

Расширение диапазона рабочих частот также необходимо осуществлять и в сторону его увеличения. Однако в этом случае возникает проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) с радиолокационными системами. Решение проблемы ЭМС заключается в разработке систем совмещенной обработки связных и радиолокационных сигналов [60-63]. В то же время следует выбирать такие модели совмещенной обработки радиосигналов, при которых минимально снижается качество радиолокационных изображений и максимально используются преимущества сложных сигналов [64, 65].

Принцип многокритериальной многопутевой маршрутизации относится к относительно новым подходам при передаче информации в сетях связи [66-70]. Разделение потоков позволит одновременно рационально распределять нагрузку на узлы сети воздушной связи, снижать уровень радиоизлучений при фиксированной скорости передачи данных, а самое главное, осуществлять закрытие передаваемой информации. Ключевыми отличиями авторских решений [67, 68] является многокритериальный подход.

И, наконец, на наш взгляд два наиболее оригинальных принципа и их трактования.

Принцип активного противодействия источникам дестабилизирующих факторов (ИДФ). Традиционно в интересах защиты элементов систем связи применяются пассивные меры. Так, например, для повышения скрытности работы радиосредств могут использоваться шумоподобные сигналы и т.д. Авторами предлагается кардинальная смена курса для обеспечения устойчивого функционирования воздушных сетей связи: физическое уничтожение ИДФ. Для этого, как вариант, для ликвидации ИДФ можно ввести в состав АСС ударные БПЛА, и реализовать эффективные способы огневого поражения [71] и систему поддержки принятия решения [72, 73].

Принцип учета "масштаба событий". Многим сложным техническим системам характерно резкое обрушение устойчивости функционирования. Этот факт является следствием непредсказуемости воздействия ИДФ и масштабов их последствий. Воздушным СС на БПЛА в полной мере соответствуют выдвинутые

предположения. Так, например, в случае использования БпЛА малого класса, характеризуемого взлетной массой до 30 кг, очень критическое значение имеют погодные условия. Например, в случае смены метеоусловий в процессе функционирования СС на БпЛА может быть массовое обледенение несущей кромки крыла БпЛА, в результате которого все узлы связи будут утрачены. Правильный учет воздействиях ИДФ, а именно «учет масштаба событий» позволяет осуществить теория рисков [31].

Выводы. С использованием имеющего опыта построения систем связи разработан обобщенный перечень принципов построения СС на базе БпЛА. Ряд принципов сформировано в развитие существовавших ранее, в том числе, предложены новые принципы наличия объективных противоречий, текущего взаимодействия, эволюционного создания, повышения возможностей бортовой обработки информации, максимального использования радиочастотного спектра, многокритериальной многопутевой маршрутизации, активного противодействия источникам дестабилизирующих факторов, учета «масштаба событий». Разработанные принципы могут быть положены в основу практической работы по построению СС на базе БпЛА и являются отправной точкой для формирования ее технического облика.

Список источников

1. Копытко В.К., Шептура В.Н. К вопросу об инновационном развитии системы связи группировки войск (сил) на театре военных действий // Вестник академии

военных наук. 2011. № 3 (36). С. 88-94.

2. Мешалкин В.А., Савицкий О.К. Перспективы развития средств и комплексов радиосвязи вооруженных сил Российской Федерации // Техника радиосвязи. 2021. № 15. С. 65-76.

3. Черныш А.Я., Попов В.В. Об эволюции теории и практики единого информационного пространства и первоочередных мерах по его развитию в интересах повышения эффективности управления национальной обороной Российской Федерации // Военная мысль. 2019. № 9. С. 47-54.

4. Макаренко С.И., Иванов М.С. Сетевая война – принципы, технологии, примеры и перспективы: монография. - СПб: Научно-технологические технологии, 2018. - 898 с.

5. Лихачев А.М., Абрамович А.В., Присяжнюк А.С. Концептуальные основы создания и развития автоматизированной системы управления ОАЦСС ВС РФ // Информация и космос. 2016. № 2. С. 6-21.

6. Блонский Ю.П., Шмаков Е.А., Глебов В.В. Развитие системы связи ВС РФ, как материально-технической основы системы управления на современном этапе // Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне: сборник трудов. – Омск: Омский государственный технический университет, 2020. С. 146-151.

7. Самарцев Н.С., Колотилов Е.Д., Кошелев Б.В. Алгоритм обмена данными по цифровой линии передачи данных «земля-борт-земля» // Труды МАИ. 2017. № 93.

URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=80448>

8. Гуревич О.С., Кессельман О.Г., Трофимов А.С., Чернышов В.И. Современные

- беспроводные технологии на авиационном борту // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=81143>
9. Талаев А.В., Бородин В.В. Стандарты LPWAN для группового взаимодействия мобильных узлов // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=91985>
10. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ алгоритмов маршрутизации в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2016. № 87. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=69735>
11. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Имитационная модель для оценки адаптивных сенсорных сетей // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=93398>
12. Шевцов В.А., Бородин В.В., Крылов М.А. Построение совмещённой сети сотовой связи и самоорганизующейся сети с динамической структурой // Труды МАИ. 2016. № 85. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=66417>
13. Бородин В.В., Петраков А.М. Анализ алгоритмов управления адаптивной сетью передачи данных по локальным параметрам // Труды МАИ. 2015. № 80. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=57035>
14. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2015. № 81. <https://trudymai.ru/published.php?ID=57894>
15. Российский самолет спецназначения Ту-214Р. URL: <https://topwar.ru/14558-rossiyskiy-samolet-specnaznacheniya-tu-214r>

16. Самолёты-долгожители: Ил-20М и Ил-20РТ. URL: <https://topwar.ru/79467-samolety-dolgozhiteli-il-20m-i-il-20rt.html>
17. EC-130H Compass Call. URL: <http://www.airwar.ru/enc/spy/ec130h.html>
18. Самолет Боинг RC-135 V/W «Ривет Джойнт». URL: <https://warfor.me/samolet-boing-rc-135-v-w-rivet-dzhojnt>
19. Звездное скопление. Самолет дальнего наблюдения и целеуказания E-8 J-STARS/ URL: <https://topwar.ru/22593-zvezdnoe-skoplenie-samolet-dalnego-nablyudeniya-i-celeukazaniya-e-8-j-stars.html>
20. «Посейдонов» скоординирует «Минотавр»: тотальная противолодочная оборона США становится умнее и опасней. URL: <https://topwar.ru/99433-poseydonov-skoordiniruet-minotavr-totalnaya-protivolodochnaya-oborona-ssha-stanovitsya-umnee-i-opasney.html>
21. ATR 72MP (ASW). URL: <http://www.airwar.ru/enc/sea/atr72asw.html/>
22. «Новелла» морского охотника: как Ил-38Н ищет вражеские подлодки. URL: <https://news.rambler.ru/other/36566287-novella-morskogo-ohotnika-kak-il-38n-ischet-vrazheskie-podlodki/>
23. Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Состояние и тенденции развития. - М.: Радиотехника, 2008. - 432 с.
24. Ил-86ВКП. Новый оборонный заказ. URL: <https://dfnc.ru/katalog-vooruzhenij/spetsialnaya-aviatsiya/il-86vcp>
25. «Самолёт Судного дня» Boeing E-4В. URL: <https://topwar.ru/171418-vozdushnye-komandnye-punkty-boeing-e-4b-specsredstvo-dlja-rukovodstva-ssha.html>

26. Селезнев Н.В., Вергелис Н.И., Воронцов А.В., Шауров Б.Е., Маргарит О.В. Ретранслятор связи на привязном аэростате // Патент на изобретение RU 2680008 С1, 14.02.2019.
27. Арсланбеков И.Р., Меняло А.Н., Федоров А.Е., Евтихов К.А., Бортников В.В. Многодиапазонный ретранслятор радиосвязи на привязном аэростате // Патент на изобретение RU 2537798 С1, 10.01.2015.
28. Ананьев А.В., Ерзин И.Х., Филатов С.В., Щербаков А.А. Аэромобильная сеть связи – эффективная система ретрансляции воздушного эшелона объединенной автоматизированной цифровой системы связи в условиях вооруженного конфликта // Военная мысль. 2017. № 4. С. 26-34.
29. Ананьев А.В., Афанасьев А.Л., Змий Б.Ф., Кащенко Г.А. Многокритериальный выбор маршрута в системах связи на базе беспилотных летательных аппаратов // III Всероссийская НПК «Авиатор» (11-12 февраля 2016): сборник статей. - Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. Т. 2. С. 15-20.
30. Ананьев А.В., Кащенко Г.А. Живучесть аэромобильных сетей связи на базе беспилотных летательных аппаратов // I Всероссийская НПК «Авионика»: сборник статей. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. С. 16-21.
31. Ананьев А.В., Змий Б.Ф., Кащенко А.Г. Оценка риска влияния физических и информационных разрушающих воздействий на аэромобильную сеть связи // I Всероссийская научно-практическая конференции «Авионика». Актуальные вопросы состояния, эксплуатации, и развития комплексов бортового РЭО воздушных судов, проблемы подготовки специалистов: тезисы докладов (Воронеж,

19-21 апреля 2016). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. С. 22-26.

32. Аджемов С.С., Чиров Д.С. Оценка возможности создания самоорганизующейся сети тактической связи на базе беспилотных летательных аппаратов // Телекоммуникации. 2016. №7. С. 25-31.

33. Леонов А.В., Чаплышкин В.А. Сети FANET // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 297-301.

34. Сызранцев Г.В. Теоретические и научно-методические основы обеспечения построения сложных организационно-технических систем военной связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах: монография. - СПб: ВАС, 2017. - 180 с.

35. Ермишян А.Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. - СПб: ВАС, 2005. - 740 с.

36. Ананьев А.В., Стафеев М.А., Филатов С.В. Оценка эффективности систем связи и боевого управления на базе беспилотных летательных аппаратов межвидовой группировки войск // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2017. № 3. С. 75-84.

37. Михалев О.А., Галимов А.Ф. Анализ беспилотных авиационных систем в качестве потенциальной платформы для размещения ретранслятора радиосигнала в интересах системы связи МО РФ // Научно-практическая конференция «Перспективы развития и применения комплексов с БЛА»: тезисы доклада. Коломна, 2016. С. 180-187.

38. Ананьев А.В., Стафеев М.А., Макеев Е.В. Разработка способа организации связи с использованием беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Труды МАИ. 2019. № 105. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=104223>
39. Ананьев А.В., Змий Б.Ф., Кащенко Г.А. Модернизация бортовых приемо-передающих систем беспилотных летательных аппаратов на базе эволюционного подхода // Радиотехника. 2016. № 8. С. 46-49.
40. Ананьев А.В., Федченко В.С., Филатов С.В. Система управления межвидовой группировкой войск (сил) с интеграцией формирований беспилотной авиации // Военная мысль. 2017. № 9. С. 43-50.
41. Ананьев А.В., Кащенко Г.А. Выбор рационального варианта аэромобильной сети на базе беспилотных летательных аппаратов для обеспечения связи в заданном территориальном районе // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (Санкт Петербург, 24-25 ноября 2016). - СПб.: АП4ПРИНТ, 2016. С. 98-103.
42. Мухизи С., Атея А.А., Мутханна А.С., Киричѐк Р.В. Модели сегментации и кластеризации ресурсов в программно-конфигурируемых сетях // Электросвязь. 2019. № 4. С. 26-31.
43. Стрельников Д., Сидоров А., Мгимов Ю. Совместное применение пилотируемой и беспилотной авиации США в первой половине XXI века // Зарубежное военное обозрение. 2018. № 4. С. 52-59.
44. Ананьев А.В., Филатов С.В., Рыбалко А.Г. Совместное применение пилотируемой авиации и разведывательно-ударных беспилотных летательных

аппаратов малой дальности // Военная мысль. 2019. № 4. С. 26–32.

45. Ананьев А.В., Филатов С.В. Использование групп разведывательно-ударных беспилотных летательных аппаратов в совместных действиях с армейской авиацией // IV Всероссийская НПК «Авиатор» (Воронеж, 16-17 февраля 2016): сборник статей. - Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. С. 3-6.

46. Ананьев А.В., Сорокин С.А., Прикота А.В. Плагин синтеза электронных схем «SimOneCircuitDesigner» Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016662509, 11.11.2016.

47. Ананьев А.В., Петренко С.П., Филатов С.В. Оценка путей организации управления формированиями беспилотных летательных аппаратов при обеспечении боевых действий пилотируемой авиации // Военная мысль. 2019. № 1. С. 74–82

48. Ананьев А.В., Кащенко Г.А. Система ситуационного управления рисками в конфликте комплексов беспилотных летательных аппаратов и противовоздушной обороны // Современнынаукоемкие технологии. 2016. № 9 (часть 1). С. 9-12.

49. Будко П.А., Рисман О.В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем. Математические модели и методы оптимизации. - СПб.: ВАС, 2011. - 476 с.

50. Ананьев А.В., Ерзин И.Х., Стафеев М.А. Обоснование рационального выбора беспилотного летательного аппарата для построения аэромобильной сети связи // Фундаментальные исследования. 2016. № 12 (часть 2). С. 251-255.

51. Ананьев А.В., Ерзин И.Х., Стафеев М.А., Федюнин П.А. Магистральные аэромобильные сети связи на стратосферных беспилотных летательных аппаратах и

предварительное формирование базы данных рациональной маршрутизации // Специальная техника. 2017. № 2. С. 7-10.

52. Ананьев А.В., Кащенко Г.А. Маршрутизация в аэромобильной сети связи на базе беспилотных летательных аппаратах в условиях неопределенности // Материалы XXV национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2016) (Смоленск, 03-07 октября 2016). – Смоленск: Универсум, 2016. С. 141-148.

53. Курейчик В.В., Курейчик В.М., Скоролетов П.В. Анализ и обзор моделей эволюции // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. № 4. С. 12-18.

54. *Анализатор фазового шума R&S® Rohde&Schwarz*. Серия контроль и измерения. 2016, 15 р.

55. Ananev A.V., Prikota A.V. The automated synthesis of microminiature multiresonator sensors of signals structure frequency analysis in simone circuit designer system, *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, pp. 12002.

56. Ананьев А.В., Катруша А.Н. Контурная антенна ДКМВ диапазона для беспилотных летательных аппаратов // Антенны. 2017. № 8. С. 45-52.

57. Ананьев А.В., Катруша А.Н. Экспериментальная разработка внешних ДКМВ магнитных антенн беспилотных летательных аппаратов малой дальности // Журнал радиоэлектроники. 2017. № 11. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov17/7/text.pdf>

58. Ананьев А.В. Катруша А.Н., Горовой А.В., Иванов Е.А. Разработка устройства автоподстройки коэффициента стоячих волн контурной магнитной антенны беспилотного летательного аппарата // Антенны. 2019. № 2. С. 39-44

59. Ананьев А.В., Катруша А.Н. Сравнительная оценка возможностей радиосвязи с беспилотными летательными аппаратами в диапазонах КВ и УКВ для полужакрытых и закрытых трасс распространения радиоволн // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. № 10. С. 4-9.
60. Dou Z., Zhong X., Zhang W. Radar-Communication Integration Based on MSK-LFM Spread Spectrum Signal // International Journal of Communications, Network and System Sciences, 2017, vol. 10, pp. 108-117. DOI: [10.4236/ijcns.2017.108B012](https://doi.org/10.4236/ijcns.2017.108B012)
61. Liu F., Zhou L., Li Masouros. et al. Toward Dual-functional Radar-Communication Systems: Optimal Waveform Design // IEEE Transactions on Signal Processing, 2018, vol. 66 (16), pp. 4264-4279. DOI: [10.1109/TSP.2018.2847648](https://doi.org/10.1109/TSP.2018.2847648)
62. Yao Y., Wu L. Cognitive Waveform Design for Radar-Communication Transceiver Networks // Journal of advanced transportation, 2018, DOI: [10.1155/2018/4182927](https://doi.org/10.1155/2018/4182927).
63. Zheng Le, Lops Marco et al. Radar and Communication Co-existence: an Overview. URL: <https://arxiv.org/pdf/1902.08676.pdf>
64. Ананьев А.В., Гончаренко В.И., Лютин В.И. Различение и синхронизация псевдослучайных сигналов с внутриимпульсной фазовой манипуляцией на фоне белого шума и узкополосной аддитивной помехи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 7. С. 428-445.
65. Ананьев А.В., Лютин В.И. Различение и синхронизация сигналов с внутриимпульсной частотной модуляцией // Материалы XVII Международной научно-технической конференции «Радиолокация навигация связь». - Воронеж, 2011. С. 184-194.

66. Афанасьев А.Л., Гармонов А.В. Многокритериальная многопутевая маршрутизация в mesh сетях // Научно-техническая конференция «Связь и телекоммуникации – инновационное развитие регионов». - Воронеж, 2011. URL: <http://www.govrn.ru/wps/cm/connect/voronezh/avo/main/authorities/otherexecutive+power/machinery+of+administration5/stat290320111454>
67. Ананьев А.В., Багдасарян А.С., Кащенко Г.А., Кащенко А.Г. Минимизация рисков несанкционированного доступа к информации в наземных и аэромобильных радиосетях критически важных объектов методами многокритериальной многопутевой маршрутизации // Труды НИИР. 2017. № 2. С. 2-6.
68. Ананьев А.В. Багдасарян А.С., Кащенко Г.А., Кащенко А.Г. Использование многокритериальной многопутевой маршрутизации для снижения рисков несанкционированного доступа к информации в радиосетях критически важных объектов // X Мульти конференция по проблемам управления (МКПУ-2017) (Геленджик, 11-16 сентября 2017): сборник трудов. - Геленджик: Южный Федеральный университет, 2017. С. 163-166.
69. Перепелкин Д.А. Математическая модель многопутевой адаптивной маршрутизации с балансировкой неоднородной нагрузки в условиях динамических подключений узлов и линий связи в телекоммуникационных сетях // Радиотехника. 2015. № 5. С. 46-54.
70. Шувалов В.П., Вараксина И.Ю. Классификация методов многопутевой маршрутизации // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2014. № 1(8). С. 29-32.
71. Ананьев А.В., Козирацкий Ю.Л., Козирацкий А.Ю. и др. Способ высокоточного

поражения объектов. Патент 2334937 РФ, МПК F41G 7/30, 27.09.2008.

72. Ананьев А.В., Филатов С.В. Метод выбора рационального способа применения группы ударных беспилотных летательных аппаратов для поражения объектов противника // Военная мысль. 2017. № 2. С. 72-78.

73. Anan'ev A.V., Ivannikov K.S. Risk-model for communication net-works operation stability assessment // Journal of Physics: Conference Series, 2021. DOI:[10.1088/1742-6596/1902/1/012028](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1902/1/012028)

References

1. Копытко В.К., Sheptura V.N. *Vestnik akademii voennykh nauk*, 2011, no. 3 (36), pp. 88-94.
2. Meshalkin V.A., Savitskii O.K. *Tekhnika radiosvyazi*, 2021, no. 15, pp. 65-76.
3. Chernysh A.Ya., Popov V.V. *Voennaya mysl'*, 2019, no. 9, pp. 47-54.
4. Makarenko S.I., Ivanov M.S. *Setetsentricheskaya voina – printsipy, tekhnologii, primery i perspektivy* (), Saint Petersburg, Naukoemkie tekhnologii, 2018, 898 p.
5. Likhachev A.M., Abramovich A.V., Prisyazhnyuk A.S. *Informatsiya i kosmos*, 2016, no. 2, pp. 6-21.
6. Blonskii Yu.P., Shmakov E.A., Glebov V.V. *Materialy Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoi 75-letiyu Pobedy v Velikoi Otechestvennoi voine: sbornik trudov*, Omsk, Omskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2020, pp. 146-151.

7. Samartsev N.S., Kolotilov E.D., Koshelev B.V. *Trudy MAI*, 2017, no. 93. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=80448>
8. Gurevich O.S., Kessel'man O.G., Trofimov A.S., Chernyshov V.I. *Trudy MAI*, 2017, no. 94. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=81143>
9. Talaev A.V., Borodin V.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 99. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=91985>
10. Borodin V.V., Petrakov A.M., Shevtsov V.A. *Trudy MAI*, 2016, no. 87. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=69735>
11. Borodin V.V., Petrakov A.M., Shevtsov V.A. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93398>
12. Shevtsov V.A., Borodin V.V., Krylov M.A. *Trudy MAI*, 2016, no. 85. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=66417>
13. Borodin V.V., Petrakov A.M. *Trudy MAI*, 2015, no. 80. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57035>
14. Borodin V.V., Petrakov A.M., Shevtsov V.A. *Trudy MAI*, 2015, no. 81. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=57894>
15. *Rossiiskii samolet spetsnaznacheniya Tu-214R*. URL: <https://topwar.ru/14558-rossiyskiy-samolet-specnaznacheniya-tu-214r>
16. *Samolety-dolgozhiteli: Il-20M i Il-20RT*. URL: <https://topwar.ru/79467-samolety-dolgozhiteli-il-20m-i-il-20rt.html>
17. *EC-130H Compass Call*. URL: <http://www.airwar.ru/enc/spy/ec130h.html>

18. *Samolet Boeing RC-135 V/W «Rivet Dzhojnt»*. URL: <https://warfor.me/samolet-boing-rc-135-v-w-rivet-dzhojnt>
19. *Zvezdnoe skoplenie. Samolet dal'nego nablyudeniya i tseleukazaniya E-8 J-STARS/* URL: <https://topwar.ru/22593-zvezdnoe-skoplenie-samolet-dalnego-nablyudeniya-i-celeukazaniya-e-8-j-stars.html>
20. *«Poseidonov» skoordinirovuet «Minotavr»: total'naya protivolodohnaya oborona SShA stanovitsya umnee i opasnei*. URL: <https://topwar.ru/99433-poseydonov-skoordinirovuet-minotavr-totalnaya-protivolodohnaya-oborona-ssha-stanovitsya-umnee-i-opasney.html>
21. *ATR 72MP (ASW)*. URL: <http://www.airwar.ru/enc/sea/atr72asw.html/>
22. *«Novella» morskogo okhotnika: kak Il-38N ishchet vrazheskie podlodki*. URL: <https://news.rambler.ru/other/36566287-novella-morskogo-ohotnika-kak-il-38n-ischet-vrazheskie-podlodki/>
23. Verba V.S. *Aviatsionnye komplekсы radiolokatsionnogo dozora i navedeniya. Sostoyanie i tendentsii razvitiya* (O), Moscow, Radiotekhnika, 2008, 432 p.
24. *Il-86VKP. Novyi oboronnyi zakaz*. URL: <https://dfnc.ru/katalog-vooruzhenij/spetsialnaya-aviatsiya/il-86vvp>
25. *«Samolet Sudnogo dnya» Boeing E-4B*. URL: <https://topwar.ru/171418-vozdushnye-komandnye-punkty-boeing-e-4b-specsredstvo-dlja-rukovodstva-ssha.html>
26. Selezenev N.V., Vergelis N.I., Vorontsov A.V., Shaurov B.E., Margarit O.V. *Patent na izobretenie RU 2680008 C1*, 14.02.2019.
27. Arslanbekov I.R., Menyaelo A.N., Fedorov A.E., Evtikhov K.A., Bortnikov V.V. *Patent na izobretenie RU 2537798 C1*, 10.01.2015.

28. Anan'ev A.V., Erzin I.Kh., Filatov S.V., Shcherbakov A.A. *Voennaya mysl'*, 2017, no. 4, pp. 26-34.
29. Anan'ev A.V., Afanas'ev A.L., Zmii B.F., Kashchenko G.A. III Vserossiiskaya NPK «Aviator»: sbornik statei, Voronezh, VUNTs VVS «VVA», 2016, vol. 2, pp. 15-20.
30. Anan'ev A.V., Kashchenko G.A. I Vserossiiskaya NPK «Avionika»: sbornik statei. Voronezh, VUNTs VVS «VVA», 2016, pp. 16-21.
31. Anan'ev A.V., Zmii B.F., Kashchenko A.G. I Vserossiiskaya nauchno-prakticheskaya konferentsii «Avionika». Aktual'nye voprosy sostoyaniya, ekspluatatsii, i razvitiya kompleksov bortovogo REO vozdushnykh sudov, problemy podgotovki spetsialistov: tezisyy dokladov Voronezh, VUNTs VVS «VVA», 2016, pp. 22-26.
32. Adzhemov S.S., Chirov D.S. *Telekommunikatsii*, 2016, no. 7, pp. 25-31.
33. Leonov A.V., Chaplyshkin V.A. *Omskii nauchnyi vestnik*, 2015, no. 3 (143), pp. 297-301.
34. Syzrantsev G.V. *Teoreticheskie i nauchno-metodicheskie osnovy obespecheniya postroeniya slozhnykh organizatsionno-tekhnicheskikh sistem voennoi svyazi v lokal'nykh voinakh i vooruzhennykh konfliktakh* (), Saint Petersburg, VAS, 2017, 180 p.
35. Ermishyan A.G. *Teoreticheskie osnovy postroeniya sistem voennoi svyazi v ob"edineniyakh i soedineniyakh. Chast' 1. Metodologicheskie osnovy postroeniya organizatsionno-tekhnicheskikh sistem voennoi svyazi* (), Saint Petersburg, VAS, 2005, 740 p.
36. Anan'ev A.V., Stafeev M.A., Filatov S.V. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2017, no. 3, pp. 75-84.

37. Mikhalev O.A., Galimov A.F. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Perspektivy razvitiya i primeneniya kompleksov s BLA»*: tezisy doklada, Kolomna, 2016, pp. 180-187.
38. Anan'ev A.V., Stafeev M.A., Makeev E.V. *Trudy MAI*, 2019, no. 105. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=104223>
39. Anan'ev A.V., Zmii B.F., Kashchenko G.A. *Radiotekhnika*, 2016, no. 8, pp. 46-49.
40. Anan'ev A.V., Fedchenko V.S., Filatov S.V. *Voennaya mysl'*, 2017, no. 9, pp. 43-50.
41. Anan'ev A.V., Kashchenko G.A. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Ekstremal'naya robototekhnika»*, Saint Petersburg AP4PRINT, 2016, pp. 98-103.
42. Mukhizi S., Ateya A.A., Mutkhanna A.S., Kirichek R.V. *Elektrosvyaz'*, 2019, no. 4, pp. 26-31.
43. Strel'nikov D., Sidorov A., Mgimov Yu. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2018, no. 4, pp. 52-59.
44. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Rybalko A.G. *Voennaya mysl'*, 2019, no. 4, pp. 26–32.
45. Anan'ev A.V., Filatov S.V. *IV Vserossiiskaya NPK «Aviator»*: sbornik statei, Voronezh, VUNTs VVS «VVA», 2017, pp. 3-6.
46. Anan'ev A.V., Sorokin S.A., Prikota A.V. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM № 2016662509*, 11.11.2016.
47. Anan'ev A.V., Petrenko S.P., Filatov S.V. *Voennaya mysl'*, 2019, no. 1, pp. 74–82.
48. Anan'ev A.V., Kashchenko G.A. *Sovremennynaukoemkie tekhnologii*, 2016, no. 9 (chast' 1), pp. 9-12.

49. Budko P.A., Risman O.V. *Mnogourovnevnyi sintez informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem. Matematicheskie modeli i metody optimizatsii* (), Saint Petersburg, VAS, 2011, 476 p.
50. Anan'ev A.V., Erzin I.Kh., Stafeev M.A. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2016, no. 12 (chast' 2), pp. 251-255.
51. Anan'ev A.V., Erzin I.Kh., Stafeev M.A., Fedyunin P.A. *Spetsial'naya tekhnika*, 2017, no. 2, pp. 7-10.
52. Anan'ev A.V., Kashchenko G.A. *Materialy XXV natsional'noi konferentsii po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiem (KII-2016)*, Smolensk, Universum, 2016, pp. 141-148.
53. Kureichik V.V., Kureichik V.M., Skoroletov P.V. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2008, no. 4, pp. 12-18.
54. *Analizator fazovogo shuma R&S® Rohde&Schwarz. Seriya kontrol' i izmereniya*. 2016, - 15 p.
55. Ananev A.V., Prikota A.V. The automated synthesis of microminiature multiresonator sensors of signals structure frequency analysis in simone circuit designer system, *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, pp. 12002.
56. Anan'ev A.V., Katrusha A.N. *Antenny*, 2017, no. 8, pp. 45-52.
57. Anan'ev A.V., Katrusha A.N. *Zhurnal radioelektroniki*, 2017, no. 11. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov17/7/text.pdf>
58. Anan'ev A.V. Katrusha A.N., Gorovoi A.V., Ivanov E.A. *Antenny*, 2019, no. 2, pp. 39-

59. Anan'ev A.V., Katrusha A.N. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*, 2017, no. 10, pp. 4-9.
60. Dou Z., Zhong X., Zhang W. Radar-Communication Integration Based on MSK-LFM Spread Spectrum Signal, *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 2017, vol. 10, pp. 108-117. DOI: [10.4236/ijcns.2017.108B012](https://doi.org/10.4236/ijcns.2017.108B012)
61. Liu F., Zhou L., Li Masouros et al. Toward Dual-functional Radar-Communication Systems: Optimal Waveform Design, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2018, vol. 66 (16), pp. 4264-4279. DOI: [10.1109/TSP.2018.2847648](https://doi.org/10.1109/TSP.2018.2847648)
62. Yao Y., Wu L. Cognitive Waveform Design for Radar-Communication Transceiver Networks, *Journal of advanced transportation*, 2018, DOI: [10.1155/2018/4182927](https://doi.org/10.1155/2018/4182927)
63. Zheng Le, Lops Marco et al. Radar and Communication Co-existence: an Overview. URL: <https://arxiv.org/pdf/1902.08676.pdf>
64. Anan'ev A.V., Goncharenko V.I., Lyutin V.I. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2018, no. 7, pp. 428-445.
65. Anan'ev A.V., Lyutin V.I. *Materialy XVII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii «Radiolokatsiya navigatsiya svyaz'»*, Voronezh, 2011, pp. 184-194.
66. Afanas'ev A.L., Garmonov A.V. *Nauchno-tekhnikeskaya konferentsiya «Svyaz' i telekommunikatsii – innovatsionnoe razvitie regionov»*, Voronezh, 2011. URL: <http://www.govvrn.ru/wps/cm/connect/voronezh/avo/main/authorities/otherexecutive+power/machinery+of+administration5/stat290320111454>
67. Anan'ev A.V., Bagdasaryan A.S., Kashchenko G.A., Kashchenko A.G. *Trudy NIIR*, 2017, no. 2, pp. 2-6.

68. Anan'ev, A.V. Bagdasaryan A.S., Kashchenko G.A., Kashchenko A.G. *X Mul'ti konferentsiya po problemam upravleniya (MKPU-2017)*: sbornik trudov, Gelendzhik, Yuzhnyi Federal'nyi universitet, 2017, pp. 163-166.
69. Perepelkin D.A. *Radiotekhnika*, 2015, no. 5, pp. 46-54.
70. Shuvalov V.P., Varaksina I.Yu. *T-Comm: Telekommunikatsii i transport*, 2014, no. 1(8), pp. 29-32.
71. Anan'ev A.V., Koziratskii Yu.L., Koziratskii A.Yu. et al. *Patent 2334937 RF*, MPK F41G 7/30, 27.09.2008
72. Anan'ev A.V., Filatov S.V. *Voennaya mysl'*, 2017, no. 2, pp. 72-78.
73. Ananev A.V., Ivannikov K.S. Risk-model for communication net-works operation stability assessment, *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. [DOI:10.1088/1742-6596/1902/1/012028](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1902/1/012028)

Статья поступила в редакцию 05.05.2022

Статья после доработки 10.05.2022

Одобрена после рецензирования 20.06.2022

Принята к публикации 25.08.2022

The article was submitted on 05.05.2022; approved after reviewing on 20.06.2022; accepted for publication on 25.08.2022