

УДК 621.396

## **Разработка способа организации связи с использованием беспилонных летательных аппаратов малой дальности**

**Ананьев А.В.\***, **Стафеев М.А.\*\***, **Макеев Е.В.\*\***

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил "Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ВУНЦ ВВС «ВВА»,  
ул. Старых Большевиков, 54а, Воронеж, 394064, Россия*

*\*e-mail: sasha303\_75@mail.ru*

*\*\*e-mail: John8883@ya.ru*

**Статья поступила 06.04.2019**

**Аннотация.** В статье описан оригинальный способ организации радиосвязи с использованием группы БПЛА-ретрансляторов малой дальности, позволяющий обеспечить информационный обмен в условиях противодействия противника. Представлены результаты практической апробации способа.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, направление связи, разведывательно-ударный контур.

### **Введение**

Совместные действия разведгрупп и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) малой дальности (МД) позволяют снизить риски потерь пилотируемой авиации при нанесении ударов по объектам поражения [1]. При этом ключевым

аспектом является обеспечение требуемого качества информационного обмена между абонентами формируемого временного разведывательно-ударного контура (РУК), в том числе за счет применения аэромобильных сетей связи (АСС) БПЛА МД воздушного эшелона связи (ВЭ) [2]. В этой связи является актуальным направление исследований в интересах организации воздушной радиосвязи с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

В ряде работ [3-9] рассмотрен порядок организации связи внутри групп БПЛА и используемые стандарты. Основой информационного обмена между БПЛА являются разрабатываемые и постоянно совершенствуемые в России и за рубежом технологии связи [10-14].

Кроме того в другой группе работ изложены теоритические и практические результаты исследования в области применения БПЛА в качестве ретрансляторов не привязного [15, 16] и привязного типов (аэростатов и БПЛА вертолетного типа) [17, 18]. Применение одиночных БПЛА ретрансляторов стало новым шагом развития радиосвязи и позволяет оперативно предоставлять услуги связи в условиях, когда другие средства связи использовать невозможно или нецелесообразно. Эффект от применения таких ретрансляторов на БПЛА МД – увеличение дальности связи [15].

Развитием одиночных ретрансляционных платформ является формирование региональных сетей связи с использованием БПЛА, которые рассматриваются как дополнение к наземной компоненте системы связи [19-21], так и самостоятельные системы ретрансляции информационных потоков [2], в интересах обеспечения действий авиации.

На основе проведенного обзора можно выделить отдельный частный случай, заключающийся в необходимости обеспечения информационного обмена БПЛА и взаимодействующих объектов на больших расстояниях в условиях противодействия противника, в том числе для закрытых и полужакрытых трасс распространения радиоволн [22-25]. В этом случае ресурсов одиночных БПЛА может оказаться недостаточно, а развертывание зональных сетей связи является избыточным [26].

В связи с этим представляет интерес разработка способов организации связи с применением групп БПЛА на избранных информационных направлениях, позволяющих нарастить возможности ретрансляции.

Основными корреспондентами, рассматриваемыми в работе, являются участники разведывательно-ударных контуров с участием пилотируемой и беспилотной авиации МД. При этом одиночные БПЛА МД ретрансляционного типа могут применяться в разведывательно-ударных контурах (РУК) для организации связи на отдельных информационных направлениях, например, между передовым авиационным наводчиком (ПАН) и ударным авиационным комплексом (см. рис. 1).

Недостатками такого способа организации связи являются высокая уязвимость системы передачи данных к уничтожению одиночного БПЛА-ретранслятора и недостаточная дальность связи. Поэтому *целью статьи* является разработка нового способа организации связи с использованием групп беспилотных летательных аппаратов в разведывательно-ударных контурах, в том числе с задействованием пилотируемой авиации.

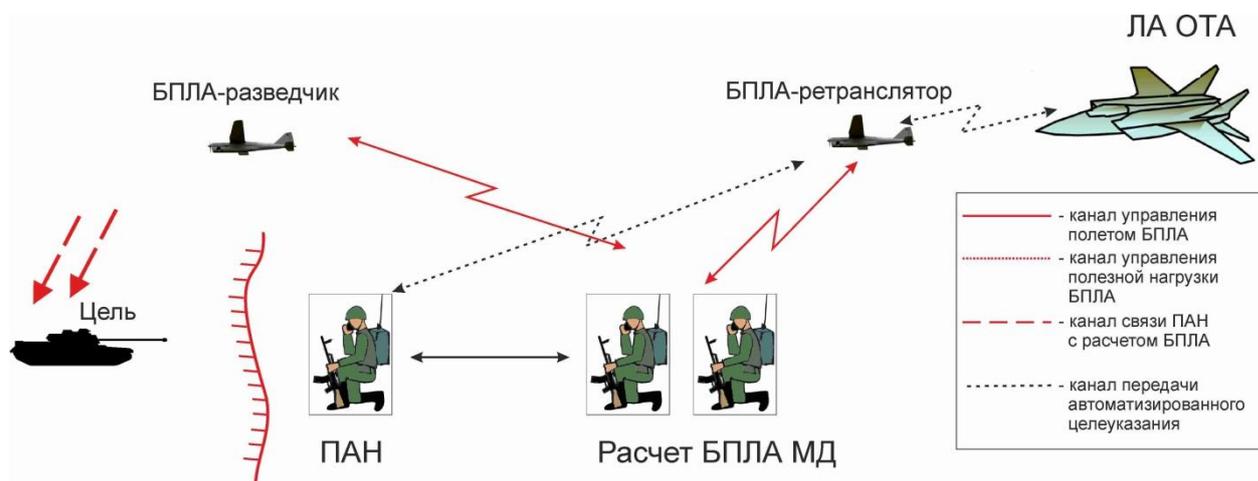


Рисунок 1 – Информационные направления РУК

### Теоретическое обоснование способа

Типовой ситуацией, которая может возникнуть в ходе организации применения группы БПЛА, может стать потеря радиосвязи с отдельной группой БПЛА или наземным пунктом управления (НПУ) БПЛА. Для решения задачи восстановления радиосвязи в работе предлагается способ, в соответствии с которым строится линия радиосвязи с применением БПЛА, как элементов АСС. Под линией радиосвязи понимается совокупность технических устройств и среды распространения радиоволн, обеспечивающих передачу сообщений от источника к получателю [27, 28].

Иллюстрация предлагаемого способа построения радиолинии с применением группы из  $N$  БПЛА-ретрансляторов представлена на рис. 2.

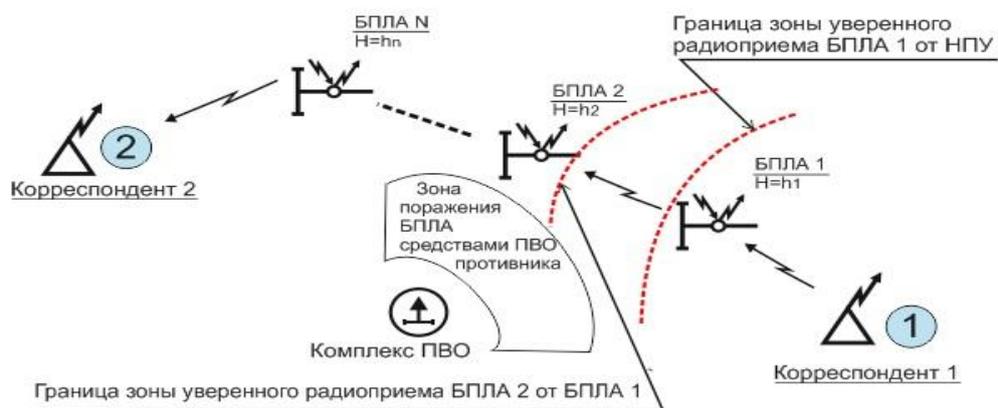


Рисунок 2 – Схема организации линия радиосвязи с применением группы беспилотных летательных аппаратов

Способ организации радиолинии с применением БПЛА-ретрансляторов заключается в выполнении следующей последовательности действий по решению ряда типовых задач:

определение азимута на корреспондента №2, относительно корреспондента №1;

запуск под управлением оператора БПЛА 1 в направлении на корреспондента №2 (в случае работы над территорией противника прогнозируется расположение средств противовоздушной обороны (ПВО). В этом случае высота полёта БПЛА ( $H$ ) задается таким образом, чтобы полет осуществлялся вне зоны досягаемости средств ПВО, кроме того, в отсутствии ПВО высота полета БПЛА определяется из условий скрытности элемента системы связи – БПЛА-ретрансляторов);

полет в сторону корреспондента №2, осуществляемый в пределах зоны уверенного приема радиосигналов по двум каналам, командно-телеметрической

радиолинии (КТР) от НПУ БПЛА и канала информационного обмена с корреспондента №2 (приемное оборудование располагается совместно с НПУ БПЛА);

в процессе полета бортовыми средствами связи БПЛА 1 постоянно осуществляется поиск в эфире корреспондента №2 для установления радиосвязи. В случае, если в пределах зоны уверенного радиоприема между БПЛА 1 и НПУ удастся установить связь с корреспондентом №2, осуществляется оптимизация зоны барражирования с учетом обеспечения требуемого качества связи на участках радиолинии НПУ (корреспондент №1) -БПЛА 1 и БПЛА 1 - корреспондент №2;

в случае, когда в пределах зоны уверенного радиоприема НПУ – БПЛА 1 не удастся установить радиосвязь со вторым корреспондентом, БПЛА 1 приступает к барражированию на максимальном удалении от НПУ в сторону корреспондента №2 и в сторону БПЛА 1 осуществляется запуск и полет БПЛА 2;

в процессе полета БПЛА 2 его бортовыми средствами постоянно осуществляет поиск в радиоэфире корреспондента №2 для установления радиосвязи и поддерживается связь с БПЛА 1, по мере приближения БПЛА 2 к БПЛА 1 каналы КТР и информационного обмена БПЛА 2 коммутируются с НПУ и корреспондентом № 1 через БПЛА 1;

после установления радиообмена БПЛА 2 с НПУ и корреспондентом № 1 через БПЛА 1 осуществляется полет БПЛА 2 в сторону корреспондента №2 в пределах зоны уверенного приема радиосигналов от БПЛА 1;

в процессе полета БПЛА 2 постоянно осуществляет поиск в радиоэфире корреспондента №2 для установления радиосвязи, в случае, если в пределах зоны уверенного радиоприема между БПЛА 2 и БПЛА 1 удастся установить связь с корреспондентом №2, осуществляется оптимизация зон барражирования БПЛА 2 и БПЛА 1 с учетом обеспечения требуемого качества связи на трех участках радиолинии: НПУ (корреспондент №1) –БПЛА 1, БПЛА 1 - БПЛА 2, БПЛА 2 - корреспондент №2.

Включение новых БПЛА в процесс установления радиосвязи продолжается до тех пор, пока не будет установлена радиосвязь между корреспондентами №1 и №2.

Расчет зон барражирования (точки стояния)  $n$ -го БПЛА ( $n = \overline{1, N}$ ) может осуществляться на борту автоматически, исходя из обеспечения требуемого качества связи путем взаимного обмена радиостанциями сообщениями, содержащими тестовые посылки и значения оценок качества радиосвязи на приемной стороне, сравнений на борту БПЛА значений оценок качества радиосвязи при приеме тестовой посылки и полученного значения оценки качества от смежной радиостанции с требуемыми (заранее заданными) значениями.

Для определения траекторных параметров БПЛА-ретрансляторов предлагается использовать геометрические соотношения изложенные в [27], с учетом действия ветровых возмущений, а также радиотехнических параметров аппаратуры связи пунктов управления, удаленных БПЛА-ретрансляторов, наземных абонентов и бортовой аппаратуры ретрансляции сигналов БПЛА-ретрансляторов,

таких как диаграммы направленности и коэффициенты усиления применяемых антенн, мощности приемников и передатчиков, отношения «сигнал-шум» и т.д.

Разработанный способ предусматривает организацию связи между абонентами (корреспондентами) путем развертывания радиолинии в ограниченный период времени (период времени необходимый для выполнения поставленной задачи) в необорудованных в отношении связи районах, районах в которых затруднено развертывание и применение наземных средств связи (сложный рельеф местности, заболоченность, пожары, электромагнитная несовместимость, радиоэлектронное противодействие, (зоны повышенного заражения, труднопроходимые водные и горные районы, лесные завалы) и т.д.).

Передача информации между абонентами (корреспондентами) осуществляется по составному каналу, организованному при помощи устройств, устанавливаемых на БПЛА-Р, а также штатных устройств, расположенных на БПЛА. Для развертывания линии радиосвязи не предполагается разработка и создание специализированных БПЛА – предлагается применение серийно производимых БПЛА (ударных, разведывательных, РЭБ, ретрансляции), дооборудованных необходимыми устройствами.

Достоинством предлагаемого способа является возможность информационного обмена между абонентами находящимися вне зоны прямой видимости в требуемый период времени (период времени, необходимый для выполнения поставленной задачи).

## Экспериментальная апробация

Проведена экспериментальная оценка предлагаемого способа связи с применением штатных каналов радиосвязи БПЛА МД для случая восстановления информационного обмена с удаленной разведывательно-ударной группой БПЛА МД, обеспечивающей действия авиации. Эксперимент проводился в следующих метеоусловиях: скорость ветра по различным эшелонам высоты от 3 до 25 м/с с порывами до 28 м/с; минимальная температура воздуха  $-9^{\circ}\text{C}$ . Наблюдалось сильное обледенение одного из БПЛА-ретрансляторов.

В разведывательно-ударный контур (рис. 1) дополнительно введены ударные БПЛА МД, которые предназначены для нанесения упреждающих ударов по вновь выявляемым целям противника, что позволяет расширить боевые возможности ударных систем. В виду относительно малой скорости движения таких БПЛА, существует необходимость заблаговременного выдвижения и их предварительного развертывания над территорией противника. В связи с этим высока вероятность потерь связи с таким разведывательно-ударными группами. Фрагмент отработанного сценария восстановления радиосвязи с удаленной разведывательно-ударной группой БПЛА МД, включенной в разведывательно-ударный контур, представлен на рис. Рисунок 3.



Рисунок 3 – Сценарий отработки восстановления радиосвязи с удаленной разведывательно-ударной группой БПЛА МД

Особенностью исследуемого сценария является оценка возможности восстановления утраченной радиосвязи с удаленной разведывательно-ударной группой беспилотных летательных аппаратов, включающей ударный БПЛА МД и БПЛА МД – разведчик. Для установления радиосвязи были задействованы два БПЛА-ретранслятора. Суммарная дальность управления ударным БПЛА составила несколько сотен километров.

На рис. 4 представлен разработанный и апробированный в ходе эксперимента интерфейс специального программного обеспечения автоматизированного рабочего места НПУ. Задача оператора управления полетом заключается в управлении движением каждого БПЛА МД, а именно, построение маршрута полета, реперных точек, высот полета. Также в перечне его задач входит обеспечение живучести БПЛА МД – узлов сети связи. Для этого оператор управления полетам на основании

прогноза обстановки выбирает соответствующие точки стояния (барражирования) и высоты полета, в том числе решая вопрос скрытности присутствия БПЛА над территорией противника.

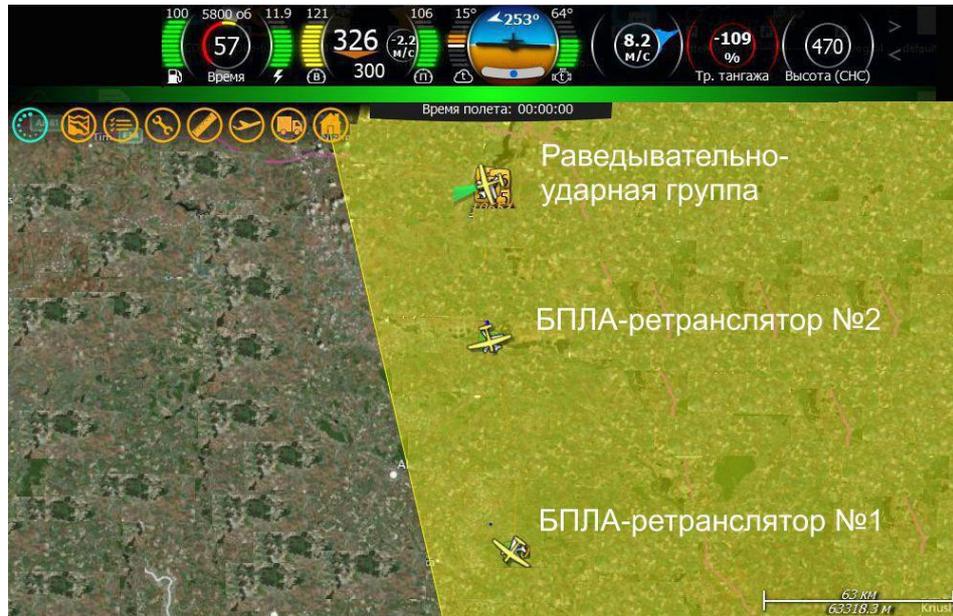


Рисунок 4 – Интерфейс специального программного обеспечения автоматизированного рабочего места НПУ

На рис. 5 представлен разработанный интерфейс специального программного обеспечения для управления сетью связи по трем зонам связи: ближняя, средняя и дальняя.

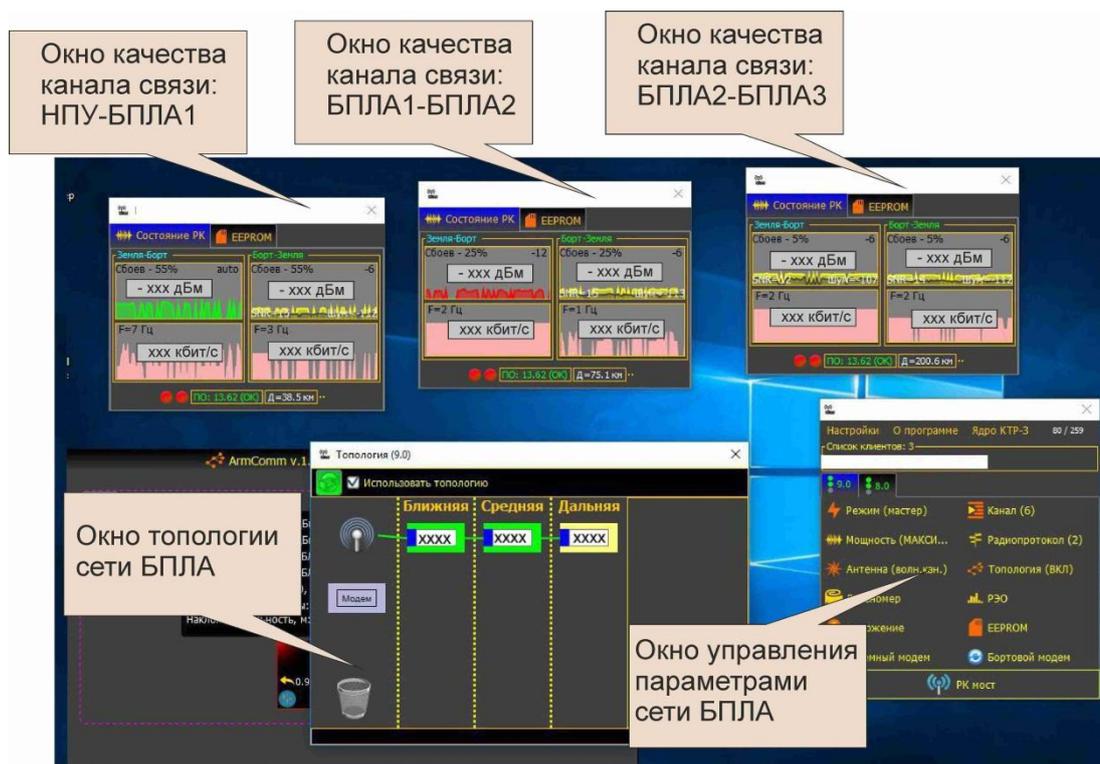


Рисунок 5 – Интерфейс программы организации связи и управления в ретрансляционной группе БПЛА

После приема ударного БПЛА МД из состава разведывательно-ударной группы БПЛА МД под управление в соответствии с предлагаемым способом организации связи был осуществлен точный вывод БПЛА в заданную точку.

## Выводы

Реализация разработанного способа обеспечила уверенное управление ударным БПЛА МД на расстоянии несколько сотен километров в сложных метеоусловиях. Экспериментально измеренная дальность связи как минимум в 2,5 раза превысила дальность стандартного канала связи БПЛА МД.

Таким образом, результатом применения способа организации связи на базе составных каналов связи, построенных с использованием БПЛА-ретрансляторов, может стать реализация дополнительной возможности осуществления

информационного обмена абонентов в требуемый период времени (период времени необходимый для выполнения поставленной задачи), в необорудованных в отношении связи районах, а также в районах, в которых затруднено развертывание и применение наземных средств связи, а также в случае необходимости экстренного восстановления связи с группами БПЛА.

По результатам эксперимента в работе определены дальнейшие пути развития формирования направления связи, включающие, прежде всего, реализацию устойчивых алгоритмов работы БПЛА в сети связи [29], повышение возможностей бортового анализа и коррекции сигналов [30], а также разработка методов совмещения телекоммуникационных, измерительных и управляющих систем [31].

### **Библиографический список**

1. Ананьев А.В., Филатов С.В. Обоснование нового способа совместного применения авиации и беспилотных летательных аппаратов малой дальности в операциях // Военная мысль. 2018. № 6. С. 5 - 13.
2. Ананьев А.В. и др. Аэромобильная сеть связи – эффективная система ретрансляции воздушного эшелона объединенной автоматизированной цифровой системы связи в условиях вооруженного конфликта // Военная мысль. 2017. №4. С. 7-10.
3. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ эффективности передачи данных в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2015. № 81. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57894>

4. Бородин В.В., Петраков А.М. Анализ алгоритмов управления адаптивной сетью передачи данных по локальным параметрам // Труды МАИ. 2015. № 80. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=57035>
5. 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: <http://trudymai.ru/published.php?ID=66417>
6. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ алгоритмов маршрутизации в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2016. № 80. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=69735>
7. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Имитационная модель для оценки адаптивных сенсорных сетей // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=93398>
8. Талаев А.В., Бородин В.В. Стандарты LPWAN для группового взаимодействия мобильных узлов // Труды МАИ. 2018. № 99. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=91644>
9. Леонов А.В., Чаплышкин В.А. Сети FANET // Омский научный вестник. 2015. № 3 (143). С. 297 - 301.
10. Гуревич О.С., Кессельман О.Г., Трофимов А.С., Чернышов В.И. Современные беспроводные технологии на авиационном борту // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=81143>
11. Слюсар В. Передача данных с борта БПЛА: стандарты НАТО // Электроника: НТБ. 2010. № 3. С. 80 - 86.

12. Слюсар В. Радиолинии связи с БПЛА. Примеры реализации // Электроника: НТБ. 2010. № 5. С.56 – 60.
13. 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: <http://trudymai.ru/published.php?ID=80448>
14. Польшинкин А.В., Ле Х.Т. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 7. С. 98 - 107.
15. Михалев О.А., Галимов А.Ф. Анализ беспилотных авиационных систем в качестве потенциальной платформы для размещения статейетранслятора радиосигнала в интересах системы связи МО РФ // Научно-практическая конференция «Перспективы развития и применения комплексов с БПЛА». Сборник статей и докладов. - Коломна, 2016. С. 180 - 187.
16. Володин Е.А., Невзоров Ю.В., Грибанов А.С. Комплекс обеспечения радиосвязи с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА) на территории с разрушенной инфраструктурой связи в зонах стихийного бедствия и чрезвычайных ситуаций. Патент РФ № 2554517С2. Бюлл. №18, 27.06.2015.
17. Вишневецкий В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. - М: Техносфера, 2005. 592 с.

18. Полтавский А.В., Юрков Н.К., Нгуен Зуи Фыонг. Телекоммуникация сетевых систем на основе высотных платформ // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 46 - 55.
19. Малышев Г.В., Никитский В.П., Свотин А.П., Егоров Ю.Г., Ламзин В.А., Кузнецов А.А. Аэродинамическая интегральная система телекоммуникаций. Патент РФ № 2180767, 20.03.2002.
20. Балыков А.А., Овчинников Г.Р., Перепечаев А.Н. Программный комплекс частотно-территориального планирования сетей УКВ-радиосвязи с использованием ретрансляторов на БПЛА // Информация и космос. 2014. № 2. С. 28 - 35.
21. Аджемов С.С., Чиров Д.С. Оценка возможности создания самоорганизующейся сети тактической связи на базе беспилотных летательных аппаратов // Телекоммуникации. 2016. № 7. С. 25 - 31.
22. Боев Н.М., Шаршавин П.В., Нигруца И.В. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 7. С. 147 - 158.
23. Будко П.А., Жуков Г.А. Групповое использование робототехнических комплексов при выполнении миссий на глобальных удалениях от пункта управления // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Т. 11. № 9. С. 4 - 14.
24. Ананьев А.В., Катруша А.Н. Контурная антенна ДКМВ диапазона для беспилотных летательных аппаратов // Антенны. 2017. № 8. С. 45 - 52.
25. Ананьев А.В., Катруша А.Н. Сравнительная оценка возможностей радиосвязи с беспилотными летательными аппаратами в диапазонах КВ и УКВ для

полузакрытых и закрытых трасс распространения радиоволн // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. № 10. С. 4 - 9.

26. Пищин О.Н., Сорокин А.А., Дмитриев В.Н. Принципы организации сетей мобильной связи на основе подвижных базовых станций // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2007. № 6 (41). С. 194 - 196.

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

28. Словарь войск связи Вооруженных Сил Российской Федерации / Под редакцией Карпова Е.А. - М.: Воениздат, 2008. - 214 с.

29. Anan'ev A.V. Goncharenko V.I. Scenario planning of activities of the group of aeronautical robotic engineering complexes in cooperative environments 2017 // Tenth International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD'2017), (Moscow, Russia, 2-4 Oct. 2017). Publisher: IEEE. Date Added to IEEE Xplore: 16 November 2017. DOI: 10.1109/MLSD.2017.8109591. IEEE Xplore Digital Library: URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109591/>

30. Ананьев А.В., Гончаренко В.И., Лютин В.И. Разработка цифровых устройств анализа и коррекции спектральной структуры сигналов для беспилотных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 7. С. 446 - 456.

31. Лютин В.И., Ананьев А.В., Гончаренко 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.