

УДК 623.465

Анализ исследований в области авиационной радиосвязи и обоснование перспективных путей совершенствования сетей радиосвязи управления авиацией с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения

Смирнов С. В.

Актуальность. В настоящее время существует определенная вероятность применения Воздушно-космических сил России за пределами ее территории. Основной задачей при этом является организация управления авиацией при отсутствии наземных пунктов управления. В этом случае для управления авиацией используется воздушный пункт управления, который представляет собой авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения (АК РЛДН). Однако сети радиосвязи АК РЛДН имеют недостаточную пропускную способность при управлении большим числом воздушных судов. **Целью работы** является анализ исследований, связанных с развитием сетей авиационной радиосвязи, представленных в известных работах, и обоснование перспективных путей модернизации системы связи управления авиацией с АК РЛДН. **Результаты и их новизна.** Проведен анализ более ста источников, посвященных проблемам развития как гражданской, так и военной авиационной радиосвязи. В результате анализа было выявлено, что существующие способы повышения пропускной способности гражданских авиационных систем управления и связи применимы к сетям радиосвязи АК РЛДН в очень узком диапазоне. Это связано с дополнительными требованиями, которые предъявляются сетям радиосвязи управления военной авиации – устойчивостью и помехозащищенностью. Перспективным направлением совершенствования систем управления и связи АК РЛДН является применение Mesh-технологии, которая позволит организовать децентрализованную сеть обмена данными и обеспечить сетевое управление авиацией на театре военных действий. При этом необходимо учесть особое место АК РЛДН в организации единой сети обмена данными, а именно – его центральную и координирующую роль при организации связи и управлении сетевыми ресурсами. **Практическая значимость.** Представленный анализ будет полезен техническим и военным специалистам для обоснования новых способов совершенствования систем радиосвязи и управления как гражданской, так и военной авиацией. В особенности, полученные результаты анализа важны для обоснования новых технических решений по системам управления и связи в составе АК РЛДН.

Ключевые слова: система управления, авиация, система связи, командная радиоперехватная линия управления, авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения, сеть воздушной радиосвязи.

В настоящее время стремительно развиваются телекоммуникационные технологии и это технологическое развитие, а также внедрение новых концепций и сетевых технологий создает предпосылки для коренного изменения архитектуры и принципов построения сетей специального назначения. Эти новые концепции связаны с конвергенцией разнородных сетей связи, а также с рас-

Библиографическая ссылка на статью:

Смирнов С. В. Анализ исследований в области авиационной радиосвязи и обоснование перспективных путей совершенствования сетей радиосвязи управления авиацией с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 3. С. 1-27. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/01-Smirnov.pdf>.

Reference for citation:

Smirnov S. V. Analysis of Researches in Field of Aeronautical Telecommunication and Justification of New Ways of Improvement of Radio Network of AWACS. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 3, pp. 1-27. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-03/01-Smirnov.pdf> (in Russian).

ширением диапазона предоставляемых услуг связи. При этом отличительной особенностью сетей специального назначения является то, что с одной стороны они традиционно являются наиболее консервативным объектом в отрасли связи, а с другой стороны – они должны быть основаны на новейших достижениях этой отрасли, чтобы обеспечивать высокое качество обслуживания специальных абонентов.

Вопросам анализа функционирования сетей связи специального назначения посвящены работы: Г.И. Линца [1], С.И. Макаренко, В.Е. Федосеева [2], И.Н. Лялюка [3], А.В. Боговика, В.В. Игнатова [4], П.А. Будко [5], Е.Е. Исакова [6], Р.Л. Михайлова [7], С.М. Одоевского [9], А.А. Коробицина, А.М. Кудрявцева, А.А. Смирнова [10], А.Н. Буренина, К.Е. Легкова [11, 14], Ю.Н. Кобозева [12], В.Н. Шептуры [13], А.Н. Назарова, К.И. Сычева [37].

Достаточно полный перечень аппаратуры специальной связи и управления вооружением предоставлен в работах [15-17, 34]. При этом анализ проблем и перспектив развития систем специальной связи достаточно полно представлен в работах О.А. Коновалова [18] и С.И. Макаренко [19, 20].

Особенную роль среди систем специальной связи играют средства авиационной радиосвязи, предназначенные для управления военной авиацией. Развитие данных средств приобретает особую актуальность из-за повышения роли авиации для отстаивания интересов России на удаленных театрах военных действий (ТВД). Актуальность развития данного направления продемонстрировала операция Военно-космических сил России в Сирии. Особенностью применения авиации на удаленных театрах военных действий является отсутствие на них стационарного оборудования управления и связи. В таких условиях управление авиацией осуществляется с воздушного пункта управления – авиационного комплекса дозора и наведения (АК РЛДН).

Общим проблемам управления авиацией при решении задач нанесения ударов и отражения воздушного нападения посвящены работы научной школы академика РАН Е.А. Федосова [21, 27]. Вопросам управления авиации с АК РЛДН посвящена фундаментальная работа В.С. Вербы [22]. Основы организации радиоуправления летательными аппаратами (ЛА) посвящены работы научной школы В.Н. Меркулова [24, 35, 36]. При этом особенности управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) рассматриваются в работах К.Л. Войткевича, А.А. Сулимы, П.А. Зац [39], С.И. Макаренко [44], А.Р. Гайдука, С.Г. Капустина И.А. Каляева [45, 46], В.И. Меркулова и В.П. Харьковова [47]. Как отмечается в данных работах современной тенденцией развития систем управления ЛА и БПЛА является их переход к сетевым принципам. Особенности реализации данного сетецентрического принципа управления силами и средствами представлены в работах В.С. Вербы, С.С. Поливанова [48], Е.А. Кондратьева [49, 50], С.И. Макаренко [51], А.Е. Богданова, С.А. Попова, М.С. Иванова [98]. При этом, как подчеркивается в работах В.С. Вербы [22, 52], для управления авиацией АК РЛДН имеет первостепенное значение. Именно АК РЛДН занимает место центрального элемента в сети управления самолетами фронтовой и истребительной авиации, выступая, с одной стороны, как организатор и координатор сетецентрического управле-

ния, а с другой стороны – как шлюз для сопряжения авиационных сетей с другими системами управления и связи на Земле, в море и в космосе.

Однако переход к сетевым принципам управления авиацией требует пересмотра принципов организации авиационной радиосвязи и информационного обеспечения. А именно – повышения пропускной способности, своевременности и устойчивости сетей воздушной радиосвязи (СВРС). Обеспечение повышения данных показателей СВРС, а также их адаптацию к сетевым принципам управления возможно за счет перехода к децентрализованному информационному обмену в СВРС. При этом предполагается, что АК РЛДН выступит центральным и координирующим элементом СВРС [22, 49, 52, 81].

Вопросам совершенствования СВРС управления военной и гражданской авиации посвящены работы: С.И. Макаренко [23, 28, 38, 43, 62-64, 82, 83, 91, 94, 95], М.С. Иванова [23, 92, 93, 97], С.А. Попова [23, 92, 93, 97], В.И. Меркулова [24-26, 35, 36], А.В. Комякова [29, 30], К.Л. Войткевича [30-33, 39, 54-57], А.А. Сулима [30, 39], Е.А. Белоусова [31, 32, 57], В.Ф. Брянцева [31, 32, 57], А.В. Кейстовича [31, 32, 84], Х.И. Сайфетдинова [31, 32, 57], С.В. Киткаева [53], С.В. Алехина [55], А.Н. Дмитриева [40, 41, 58-60], О.В. Мотина [40, 41, 61], А.В. Максимова [40, 41, 60], О.А. Блакитного [58], В.А. Гимбицкого [65-70], И.И. Сныткина [65, 66, 67], В.И. Калинина [71, 72, 73], С.Ю. Гоцуцова [74], Э.Ю. Калимулиной [75], А.Н. Морозова [76], А.В. Прохорова [77, 78, 79], Д.В. Колядова [77, 78], Д.С. Бондаря [79], А.С. Скороварова [80], С.Н. Назарова [85, 86, 88, 89], А.А. Шагаровой [88, 89], О.А. Шорина [87], А.В. Аганесова [90-95], А.Е. Богданова [97], М.С. Кулакова [100, 101], А.В. Абилова [102-104].

Общие принципы организации связи при УВД представлены в работах В.А. Силякова, В.Н. Красюка [105], Б.И. Кузьмина [106], В.К. Кульчицкого [107, 108].

В работах С.Ю. Гоцуцова [74], Э.Ю. Калимулиной [75], А.Н. Морозова [76], А.В. Прохорова [77, 78, 79], Д.В. Колядова [77, 78], Д.С. Бондаря [79], С.Н. Назарова [85, 86, 88, 89], А.А. Шагаровой [88, 89] и М.С. Кулакова [100, 101] рассматривались различные частные аспекты организации СВРС при организации управления воздушным движением (УВД) в гражданской авиации. В частности, в работах С.Ю. Гоцуцова [74], А.В. Прохорова [77, 78, 79], Д.В. Колядова [77, 78], Д.С. Бондаря [79], О.А. Шорина [87], рассмотрены различные вопросы построения систем управления УВД на основе СВРС с коммутацией пакетов и особенности организации маршрутизации трафика по этим сетям. В работе Э.Ю. Калимулиной [75] исследовались вопросы надежности СВРС территориально-распределенной системы УВД. В работе А.Н. Морозова [76] было проведено моделирование фиксированных сетей УВД и предложены частные способы их оптимизации. В работе О.А. Шорина [87] исследовались методы распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи. В работах М.С. Кулакова [100, 101] рассматривались различные возможности по повышению пропускной способности современных сетей передачи данных для гражданской авиации. Отдельные вопросы организации децен-

трализованных сетей информационного обмена для группы гражданских БПЛА рассмотрены в работах А.В. Абилова [102-104].

При этом необходимо отметить, что результаты вышеуказанных работ, только в ограниченном варианте применимы к СВРС боевого управления авиацией. Для СВРС боевого управления свойственны такие специфичные особенности как: высокая интенсивность информационного обмена на конечных этапах полета и боевого применения, высокие требования по устойчивости и помехозащищенности связи к применению средств радиоэлектронного подавления (РЭП), высокая динамика изменения топологии сети, ограниченность стационарной наземной инфраструктуры связи на удаленных ТВД. Все эти особенности не учитываются в вышеуказанных работах, которые посвящены вопросам управления гражданской авиации.

Общие принципы организации связи при управлении боевой авиацией представлены в работах Е.А.Федосова [27], С. И. Макаренко, В.И. Сапожникова, Г.И. Захаренко, В.Е. Федосеева [28], В.Н. Меркулова [24-26, 35, 36], В.С. Вербы [25] А.В. Кейстовича, В.Р. Милова [87], В.М. Ланчева [109].

Вопросы маршрутизации информационных потоков и команд управления в СВРС управления именно военной авиации были рассмотрены в работе К.Л. Войткевича [54]. В этой работе описаны основные принципы маршрутизации трафика в СВРС, а также в наземных сетях при решении задач управления авиацией. Основные принципы организации связи СВРС представленные в работе К.Л. Войткевича [54] в дальнейшем получили развитие в работах: С.В. Алехина [55], А.А. Сулимы [30, 39], П.А. Зац [39], Е.А. Белоусова [31, 32, 57], В.Ф. Брянцева [31, 32, 57], А.В. Кейстовича [31, 32, 84], Х.И. Сайфетдинова [31, 32, 57]. В этих работах были описаны различные варианты совершенствования СВРС, в частности: конкретизированы подходы к маршрутизации сообщений в СВРС, представлены предложения по организации локальных СВРС гражданского и военного назначения, предложена концепция быстрой реконфигурации аппаратуры связи на основе концепции «программируемого радио».

В работах А.Н. Дмитриева, А.В. Максимова, О.А. Блакитного [58], В.А. Гимбицкого, И.И. Сныткина [65-70], В.И. Калинина [71-73], рассмотрены вопросы организации СВРС управления боевой авиацией в отдельном регионе или на ТВД при управлении массированными действиями разнородной авиационной группировки.

В работах А.Н. Дмитриева, А.В. Максимова, О.А. Блакитного [40, 41, 59, 61], С.И. Макаренко [59, 61], А.В. Кейстовича, В.Р. Милова [87] рассмотрены вопросы организации локальных СВРС объединяющих группы ЛА, а также исследованы вопросы эффективности различных алгоритмов доступа абонентов к радиоканалу связи.

В работах С.И. Макаренко [43, 62-64] рассмотрены вопросы эффективного управления ресурсами СВРС в интересах обеспечения высокой пропускной способности сети для организации высокоскоростного информационного обеспечения самолетов истребительной и фронтовой авиации.

В работах С.И. Макаренко [91, 94, 95], А.В. Аганесова [90-95], М.С. Иванова, С.А. Попова [92, 93, 97], А.Е. Богданова [97], рассмотрены во-

просы организации гибридных сетей управления авиации, вопросы маршрутизации информационных потоков в СВРС на основе децентрализованных и иерархических подходов.

В работах С.И. Макаренко [23, 28, 82, 83], М.С. Иванова, С.А. Попова [23, 97], А.С. Скороварова [80] рассмотрены вопросы обеспечения помехозащищенности СВРС управления авиацией от средств РЭП противника.

Вместе с тем, вышеуказанные работы не учитывают тенденции по внедрению сетевых систем управления авиацией, а также необходимости построения отдельных СВРС, а также единой СВРС на ТВД на основе разветвленной децентрализованной сетевой технологии. При этом основным центральным элементом такой СВРС должен являться АК РЛДН на который будут возложены функции координации и управления связью в единой СВРС на ТВД.

К отдельным работам, в которых рассматривается роль АК РЛДН при организации СВРС сетецентрического управления авиацией, можно отнести работы В.С. Вербы [22, 48, 52] и В.Н. Меркулова [24, 35, 36]. Однако технологические аспекты организации единой СВРС на ТВД для сетецентрического управления авиацией в данных работах представлены в недостаточной степени подробно.

В работах С.И. Макаренко [91, 94, 95], А.В. Аганесова [90-95], М.С. Иванова, С.А. Попова [92, 93, 97], А.Е. Богданова [97], К.Е. Легкова [99], М.С. Кулакова [100, 101], А.В. Абилова [102] показано, что перспективным направлением повышения пропускной способности СВРС может служить Mesh-технология, которая позволит организовать децентрализованную сеть обмена данными и за счет использования соединений со смежными сетями разгрузить основные иерархические направления связи в единой СВРС на ТВД. При этом необходимо учесть место АК РЛДН в организации единой СВРС на ТВД, его центральную и координирующую роль при организации сетецентрического управления авиацией. За основу разработки принципов построения единой СВРС на ТВД можно положить фундаментальные работы [42, 96], модели в которых необходимо усовершенствовать с учетом вышеуказанных перспектив развития систем управления авиацией.

Вывод

Таким образом, проведенный анализ ранее опубликованных работ в предметной области систем авиационной радиосвязи позволил сформулировать противоречие в науке – между необходимостью обеспечения высокой пропускной способности единой СВРС на ТВД и невозможностью, на основе современного уровня развития научно-методического аппарата теории связи, обеспечить технологические решения для АК РЛДН по сетевому управлению военной авиацией на ТВД.

При разрешении этого противоречия и разработке перспективных технических решений по единой СВРС на ТВД необходимо учесть следующее:

- технической основой сетецентрического управления военной авиацией с АК РЛДН должна быть единая СВРС ТВД построенная на основе децентрализованного принципа информационного обмена;

- АК РЛДН в единой СВРС ТВД должен выполнять центральную и координирующую роль по организации связи и распределению ресурсов сети;
- реализация децентрализованного принципа информационного обмена в единой СВРС ТВД может быть основана на использовании Mesh-технологий.

Литература

1. Линец Г. И. Системные аспекты теории синтеза и практика построения телекоммуникационных сетей. – Ставрополь: Альфа-Принт, 2010. – 460 с.
2. Макаренко С. И., Федосеев В. Е. Системы многоканальной связи. Вторичные сети и сети абонентского доступа: учебное пособие. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – 179 с.
3. Лялюк И. Н. С4I: системы связи, АСУ и разведки вооруженных сил США. – М.: ВАТУ, 2000.
4. Боговик А. В., Игнатов В. В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. – СПб.: ВАС, 2006. – 183 с.
5. Будко П. А., Рисман О. В. Многоуровневый синтез информационно-телекоммуникационных систем. Математические модели и методы оптимизации: Монография. – СПб.: ВАС, 2011. – 476 с.
6. Исаков Е. Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 400 с.
7. Михайлов Р. Л. Помехозащищенность транспортных сетей связи специального назначения. Монография. – Череповец: ЧВВИУРЭ, 2016. – 128 с.
8. Ермишян А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях. Часть 1. – СПб.: ВАС, 2006. – 740 с.
9. Новые информационные и сетевые технологии в системах управления военного назначения. Учебник. Часть 1. Новые сетевые технологии в системах управления военного назначения / Под ред. С.М. Одоевского. – СПб.: ВАС, 2010. – 432 с.
10. Коробицин А. А., Кудрявцев А. М., Смирнов А. А. Информационные и сетевые технологии в автоматизированных системах специального назначения: учебное пособие. – СПб.: ВАС, 2015. – 132 с.
11. Буренин А. Н., Легков К. Е. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения управления. – М.: Медиа паблишер, 2015. – 348 с.
12. Кобозев Ю. Н. Перспективы развития систем связи и телекоммуникаций в информационно-управляющих системах специального назначения [Доклад] // Мат. Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Том 4 «Телекоммуникации и связь в информационно-управляющих системах» / Под ред. Ю.В. Бородакия. – М.: ОАО «Концерн «Системпром», 2013. – С. 7-9.
13. Шептура В. Н. Архитектура перспективной системы связи группировки войск (сил) для обеспечения управления адаптивными действиями

войск (сил) [Доклад] // Мат. Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Том 4 «Телекоммуникации и связь в информационно-управляющих системах» / Под ред. Ю.В. Бородакия. – М.: ОАО «Концерн «Системпром», 2013. – С. 16-20.

14. Легков К. Е., Ледянкин И. А. Основные подходы к предоставлению услуг в инфокоммуникационных системах специального назначения [Доклад] // Мат. Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Том 4 «Телекоммуникации и связь в информационно-управляющих системах» / Под ред. Ю.В. Бородакия. – М.: ОАО «Концерн «Системпром», 2013. – С. 38-41.

15. Информационные технологии, связь и защита информации в МВД России - 2012 / По ред. М.Л. Тюркина, М.И. Шадаева, А.С. Аджемова, И.П. Иванова, С.В. Дворянкина, А.В. Куц, А.В. Квитко, П.А. Важева, Ю.А. Быстрова. – М.: ООО «Компания «Информационный мост», 2013. – 156 с. – URL: www.informost.ru (дата доступа 03.02.2017).

16. Связь в Вооруженных силах Российской Федерации – 2013: тематический сборник. / По ред. А.В. Абрамовича, А.В. Герасимова, С.В. Цибина, К.С. Ометова, Ю.А. Быстрова. – М.: ООО «Компания «Информационный мост», 2013. – 216 с. – URL: www.informost.ru (дата доступа 03.02.2017).

17. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы / Под общ. ред. С. Иванова. – М.: «Оружие и технологии», 2006. – 695 с.

18. Коновалов О. А., Буслаев А. И., Маликов С. В. Актуальные направления развития перспективной системы связи вооруженных сил // III научные чтения имени А.С. Попова. Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией: сб. ст. по материалам Всероссийской НТК слушателей, курсантов и молодых ученых, посвященной 95-летию со Дня образования войск связи (10 октября 2014 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. – С. 42-44.

19. Макаренко С. И. Перспективы и проблемные вопросы развития сетей связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 18-68. – URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/02-Makarenko.pdf> (дата обращения 6.11.2017).

20. Макаренко С. И. Описательная модель сети связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 2. С. 113-164. – URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/05-Makarenko.pdf> (дата обращения 13.11.2017).

21. Антонов Д. А., Бабич Р. М., Балыко Ю. П., Белоглазов И. Н., Бернинский Е. Я., Борисов Л. В., Виноградов С. М., Войтенко В. И., Герасимов А. А., Гузеев Б. Н., Доценко А. В., Жеребин А. М., Зайцев А. В., Зинич В. С., Инсаров В. В., Кислицын В. А., Кичигин Г. Г., Колпаков К. М., Корниенко В. Н., Кравченко В. С., Кульчак М. Г., Махов Е. А.,

Немыченков И. В., Попов В. А., Пухов А. Л., Селезнев И. С., Сорокин Ю. Н., Топорков Н. В., Федосов Е. А., Червин В. И. Авиация ВВС России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 734 с.

22. Верба В. С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. Монография. – М.: Радиотехника, 2014. – 528 с.

23. Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. СПб.: – Свое издательство, 2013. – 166 с.

24. Меркулов В. И., Гандурин В. А., Дрогалин В. В. и др. Авиационные системы радиопреимущества: учебник для военных и гражданских ВУЗов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2008.

25. Верба В. С., Меркулов В. И. Теоретические и прикладные проблемы разработки систем радиопреимущества нового поколения // Радиотехника. 2014. № 5. С. 39-44.

26. Меркулов В. И. Научно-технические проблемы разработки авиационных систем радиопреимущества // Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского. 2015. № 3. С. 43-50.

27. Бабич В. К., Баханов Л. Е., Герасимов Г. П., Гиндранков В. В., Гришин В. К., Горощенко Л. Б., Зинич В. С., Карпеев В. И., Левитин В. Ф., Максимович В. А., Полушкин Ю. Ф., Слатин В. В., Федосов Е. А., Федун Б. Е., Широков Л. Е. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под ред. Е.А. Федосова. Монография. – М.: Дрофа, 2004. — 816 с.

28. Макаренко С.И., Сапожников В.И., Захаренко Г.И., Федосеев В.Е. Системы связи: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов. – Воронеж: ВАИУ, 2011. – 285 с.

29. Комяков А. В., Вдовин Л. М., Кондина И.В., Кулаков Д.С. Современная отечественная авиационная аппаратура автоматического обмена данными // Электросвязь. 2010. № 6. С. 32-37.

30. Комяков А. В., Войткевич К. Л., Сулима А. А. Инновационные решения для перспективных летательных аппаратов // Деловая слава России. 2013. № 3 (41). С. 26-27.

31. Белоусов Е. Л., Кейстович А. В., Войткевич К. Л., Брянцев В. Ф., Сайфетдинов Х. И. Современное оборудование сети авиационной электросвязи // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2012. № 1-2. С. 70-73.

32. Белоусов Е. Л., Брянцев В. Ф., Войткевич К. Л., Кейстович А. В., Сайфетдинов Х. И. Перспективное бортовое оборудование сети авиационной радиосвязи // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 3 (96). С. 11.

33. Войткевич К.Л. Опыт по созданию бортовых комплексов связи для самолетов тактического звена управления // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. – 2009. – № 1-2. – С. 42-43.

34. Научно-производственное предприятие «Полет». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. 2017. – URL: <http://www.polyot.atnn.ru> (дата доступа 03.02.2017).

35. Меркулов В. Н., Дрогалин В. В., Канащенков А. Н., Лепин В. Н., Самарин О. Ф., Соловьев А. А. Авиационные системы радиоуправления. Том 1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.

36. Меркулов В. И., Канащенков А. И., Чернов В. С., Дрогалин В. В., Антипов В. Н., Анцев Г. В., Кулабухов В. С., Лепин В. Н., Сарычев В. А., Саблин В. Н., Самарин О. Ф., Тупиков В. А., Турнецкий Л. С., Харьков В. П. Авиационные системы радиоуправления. Том 3. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.

37. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. – Красноярск: Изд-во ООО «Поликом», 2010. – 389 с.

38. Макаренко С. И., Бородинов Р. В. Анализ технологий обеспечения качества обслуживания в мультисервисных АТМ сетях // Информационные технологии моделирования и управления. 2012. №1 (73). С. 65-79.

39. Войткевич К. Л. Сулима А. А., Зац П. А. Проблемы построения канала управления беспилотными летательными аппаратами на основе ДКМВ-радиолинии // Электросвязь. 2014. № 7. С. 9-11.

40. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Мотин О. В. Оценка эффективности сетей воздушной радиосвязи при использовании различных алгоритмов многостанционного доступа // Тезисы докл. науч. техн. конференции. – Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.

41. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Мотин О. В. Модели сетей радиосвязи, использующие различные алгоритмы множественного доступа // Тезисы докл. юбилейной науч. техн. конференции. – Калуга: ОАО «КНИИТМУ», 2002.

42. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями. Пер с англ. / Л. Клейнрок. – М.: Мир. 1979. – 600 с.

43. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.

44. Макаренко С. И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 2. С. 73-132. – URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/04-Makarenko.pdf> (дата обращения: 16.10.2017).

45. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустин С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит. 2009. – 280 с.

46. Гайдук А. Р., Капустин С. Г. Концепция построения систем коллективного управления беспилотными летательными аппаратами // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 7. С. 8-16.

47. Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимизация иерархического управления группой БЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 8. С. 61-67.

48. Верба В. С., Поливанов С. С. Организация информационного обмена в сетевых боевых операциях // Радиотехника. 2009. № 8. С. 57-62.

49. Кондратьев А. Е. Общая характеристика сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевых концепций ведущих зарубежных стран // Военная мысль. – 2008. № 12. С. 63-74.

50. Кондратьев А. Е. Реализация концепции сетевых войн в ВВС США // Зарубежное военное обозрение. 2009. № 5. С. 44-49.

51. Макаренко С. И., Бережнов А. Н. Перспективы использования сетевых технологий управления боевыми действиями и проблемы их внедрения в вооруженных силах Российской Федерации // Вестник Академии военных наук. 2011. № 4 (37). С. 64-68.

52. Верба В. С. Авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения как элемент сетевой информационно-управляющей системы // Радиотехника. 2014. №5. С. 15-20.

53. Киткаев С. В. Концепция технической модернизации средств авиационной электросвязи России // Электросвязь. 2009. № 5. С. 29-33.

54. Войткевич К. Л. Методы управления трафиком в наземно-воздушных сетях связи. Дис. ... д.т.н. по спец. 05.13.01 / Войткевич Константин Леонидович. – Н.Новгород: НПП «Полет», 1998. – 375 с.

55. Алехин С. В., Войткевич К. Л. Моделирование протокола маршрутизации для беспроводных мобильных сетей // Электросвязь. 2014. № 7. С. 7-8.

56. Войткевич К. Л., Резвов А. В., Шанин В. Н. Специализированные локальные беспроводные мобильные сети гражданского и военного назначения // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2013. № 1-2. С. 130-133.

57. Белоусов Е. Л., Брянцев В. Ф., Войткевич К. Л., Кейстович А. В., Сайфетдинов Х. И. Вопросы создания авиационного радиосвязного оборудования по принципу «программируемое радио» // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 11-18.

58. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Блакитный О. А. Проблема построения единой автоматизированной системы радиосвязи региона и пути ее решения // Сборник трудов X юбилейной научно-технической конференции «Проблемы радиосвязи». – Н. Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.

59. Дмитриев А. Н., Мотин О. В. Модель авиационного УКВ канала обмена данными // Тезисы докладов научно-технической конференции. – Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.

60. Дмитриев А. Н., Максимов А. В. Оптимизация авиационных сетей обмена данными // Сборник трудов X НТК «Проблемы радиосвязи». – Н.Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.

61. Мотин О. В. Модель функционирования авиационного УКВ канала обмена данными // XXIV военно-научная конференция молодых ученых. – Щелково: 30 ЦНИИ МО РФ, 2001.

62. Макаренко С.И. Особенности распределения ресурсов радио сети управления авиационными комплексами перехвата в условиях варьирования интенсивности информационного обмена // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «VIII научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского». Часть 2. – М.: изд. ВВИА имени Н.Е. Жуковского, 2007. – С. 118.

63. Макаренко С. И. Задача адаптивного управления пропускной способностью каналов сети воздушной радиосвязи в условиях квазистационарности потоков данных // Сборник докладов юбилейной Всероссийской научно-технической школы-семинара «Проблемы совершенствования боевых авиационных комплексов, повышение эффективности их эксплуатации и ремонта». – Ставрополь: СВВАИУ, 2007. – С. 25-28.

64. Макаренко С. И. Расчет параметров алгоритма адаптивного распределения пропускной способности каналов наведения в сети воздушной радиосвязи // Сборник докладов юбилейной Всероссийской научно-технической школы-семинара «Проблемы совершенствования боевых авиационных комплексов, повышение эффективности их эксплуатации и ремонта». – Ставрополь: СВВАИУ, 2007. – С. 28-33.

65. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Организация управления силами и средствами авиации региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры № 100. – М.: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2003.

66. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Задачи боевого управления единой системы воздушной радиосвязи в комплексе пунктов управления авиационной группировкой региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры № 100. – М.: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2003.

67. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Функциональная модель процесса управления авиацией региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры №100. – М.: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2003.

68. Гимбицкий В. А. Анализ системы воздушной радиосвязи в частях истребительной авиации // Тематический научно-технический сборник филиала ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского (г. Ставрополь). – 2005. – № 26.

69. Гимбицкий В. А., Бакум А. Н. Совершенствования боевого управления авиацией ПВО // Тезисы докладов 18 НТК курсантов СВВАИУ. – Ставрополь: СВВАИУ, 1996.

70. Гимбицкий В. А. Анализ системы воздушной радиосвязи в частях дальней авиации и ВТА // Тематический научно-технический сборник филиала ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского (г. Ставрополь). – 2005. – № 26.

71. Калинин В. И. Методика оценки вероятности обслуживания абонентов с требуемой достоверностью в зоне обслуживания станции радиодоступа [Доклад] // 66 НТК СБНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

72. Калинин В. И. Пространственные модели зон обслуживания систем связи с подвижными объектами [Доклад] // 66 НТК СБНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

73. Калинин В.И. Поточные сетевые модели в системах связи с подвижными объектами [Доклад] // 66 НТК СБНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

74. Гоцуцов С. Ю. Совершенствование автоматизированных систем управления воздушным движением на основе технологий коммутации пакетов: дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.22.13 / Гоцуцов Сергей Юрьевич. – М.: МИИГА, 2007. – 211 с.

75. Калимулина Э. Ю. Разработка и исследование аналитических моделей надёжности и их применение для оптимизации территориально-распределённых сетей: дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.13.13 / Калимулина Эльмира Юрьевна. – М.: МГУСИ, 2009. – 222 с.

76. Морозов А. Н. Моделирование авиационных наземных фиксированных сетей передачи данных для организации воздушного движения в условиях дефицита исходных данных: дис. ... канд. физ.-мат. наук по спец. 05.13.18. / Морозов Александр Николаевич. – М.: МФТИ (ТУ), 2006. – 211 с.

77. Колядов Д. В., Прохоров А. В. Влияние явления одновременной передачи вызовов на работу систем управления воздушным движением // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2014. № 204. С. 82-87.

78. Колядов Д. В., Прохоров А. В. Реализация перспективной системы коммутации речевой связи для управления воздушным движением // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2013. – № 193. – С. 55-58.

79. Прохоров А. В., Бондарь Д. С. Применение аппаратуры широкополосного радиодоступа в локальных сетях связи и передачи данных систем управления воздушным движением // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2012. № 176. С. 93-100.

80. Скороваров А.С. Пути повышения эффективности функционирования авиационных средств обмена информацией с ППРЧ в условиях помех // Сборник трудов X НТК «Проблемы радиосвязи». – Н.Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.

81. Михайлов Р. Л. Анализ научно-методического аппарата теории координации и его использования в различных областях исследований // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 1-29. – URL:

<http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/01-Mikhailov.pdf> (дата обращения 5.11.2017).

82. Макаренко С. И. Подавление пакетных радиосетей со случайным множественным доступом за счет дестабилизации их состояния / С.И. Макаренко // Журнал радиоэлектроники. 2011. № 9. С. 1-22. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf> (дата доступа 03.02.2017).

83. Макаренко С. И. Оценка качества обслуживания пакетной радиосети в нестационарном режиме в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 6. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun12/9/text.pdf> (дата доступа 03.02.2017).

84. Кейстович А. В., Милов В. Р. Виды радиодоступа в системах подвижной связи. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 278 с.

85. Назаров С. Н. Подход к решению задачи определения топологии сети радиосвязи декаметрового диапазона при ее интеграции в систему авиационной электросвязи // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2010. № 152. С. 36-39.

86. Назаров С. Н. Принципы реализации пространственного ресурса декаметровой радиосвязи в системе авиационной электросвязи при решении задач управления воздушным движением // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2010. № 152. С. 40-44.

87. Шорин О. А. Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи: дис. ... доктора техн. наук по спец. 05.12.13 / Шорин Олег Александрович. – М.: МТУСИ, 2005. – 351 с.

88. Назаров С. Н., Шагарова А. А. Анализ применения зон вынесенных ретрансляторов для беспроводной авиационной электросвязи // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2011. Т. 1. № 2. С. 213-214.

89. Назаров С. Н., Шагарова А. А. Совместное использование вынесенных зон ретрансляторов для обмена сообщениями с воздушными судами на различных авиатрассах // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2011. Т. 1. № 2. С. 215-217.

90. Аганесов А. В. Модель сети воздушной радиосвязи на основе протокола случайного множественного доступа CSMA/CA // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 1. С. 67-97. – URL: <http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-01/06-Aganesov.pdf> (дата обращения: 16.10.2017).

91. Аганесов А. В., Макаренко С. И. Модель воздушно-космической сети связи с иерархическим принципом ретрансляции информационных потоков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. № 4. С. 43-51.

92. Аганесов А. В., Иванов М. С., Попов С. А., Шунулин А. В. Повышение пропускной способности сети воздушно-космической радиосвязи за счет использования Mesh-технологий в системах межсетевых обмена // Теория и техника радиосвязи. 2016. № 2. С. 12-16.

93. Аганесов А. В., Иванов М. С., Попов С. А. Применение Mesh-технологий в системах межсетевых обмена с целью повышения пропускной способности каналов связи // Охрана, безопасность, связь. 2017. № 1-1. С. 196-203.

94. Аганесов А. В., Макаренко С. И. Модель объединенной воздушно-космической сети связи с децентрализованным принципом ретрансляции информационных потоков на основе Mesh-технологий // Инфокоммуникационные технологии. 2016. № 1. С. 7-16.

95. Аганесов А. В., Макаренко С. И. Балансировка информационной нагрузки между воздушным и космическим сегментами объединенной воздушно-космической сети связи построенной на основе Mesh-технологий // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Том 7. № 1. С. 17-25.

96. Авен О. И., Гурин Н. Н., Коган Я. А. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982.

97. Богданов А. Е., Попов С. А., Иванов М. С., Березин А. В. Компенсационные способы борьбы с прицельными по частоте помехами в системах авиационной радиосвязи, использующих псевдослучайную перестройку рабочей частоты // Радиотехника. 2013. № 8. С. 81-85.

98. Богданов А. Е., Попов С. А., Иванов М. С. Перспективы ведения боевых действий с использованием сетевых технологий // Военная мысль. 2014. № 3. С. 3-12.

99. Легков К. Е. Методы повышения производительности беспроводных mesh-сетей специального назначения // Т-Comm. 2011. № 3. С. 46-48.

100. Кулаков М. С. Анализ особенностей функционирования мобильных самоорганизующихся сетей MANET на уровне доступа к среде MAC // Т-Comm. 2014. № 10. С. 39-42.

101. Кулаков М. С. Применение алгоритмов самоорганизации для режима VDL-2 // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2012. Т. 5. № 5. С. 58-62.

102. Абилов А. В., Васильев Д. С. Повышение качества передачи потоковых данных в сетях БПЛА с помощью PULL-PUSH-подхода // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Т. 12. № 4. С. 45-50.

103. Кайсина И. А., Васильев Д. С., Абилов А. В. Анализ эффективности протоколов маршрутизации OLSR и AODV в летающей сети FANET // Вестник ИжГТУ им. М.Т. Калашникова. 2017. Т. 20. № 1. С. 87-90.

104. Шамонов М. Ю., Абилов А. В. Мобильные самоорганизующиеся сети беспилотных летательных аппаратов FLYING AD HOC NETWORKS (FANETS) // Приборостроение в XXI веке - 2016. Интеграция науки, образования и производства Сборник материалов XII Международной научно-технической конференции. 2017. С. 542-550.

105. Силяков В. А., Красюк В. Н. Системы авиационной радиосвязи: Учебное пособие / Под ред. В.А. Силякова. – СПб.: ГУАП, 2004. – 160 с.

106. Кузьмин Б. И. Сети и системы авиационной цифровой электросвязи: учебное пособие. В 3-х частях. – СПб.: ОАО «НИИЭИР», 1999, 2000, 2003.

107. Кульчицкий В. К., Мешалов Р. О., Журавлев С. С. Системы, комплексы и средства авиационной электросвязи / Под ред. С.А. Кудрякова. – СПб.: Свое издательство, 2015.

108. Кудряков С. А., Кульчицкий В. К., Поваренкин Н. В., Пономарев В. В., Рубцов Е. А., Соболев Е. В., Сушкевич Б. А. Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь. Учебное пособие. – СПб.: Свое издательство, 2016.

109. Бреслер И. Б., Горбач А. Н., Ланчев В. М., Полушин К. В., Пшеницын А. А., Смирнова Е. В., Угловский Е. П. Средства связи противовоздушной обороны ВВС / Под ред. В.М. Ланчева. – Тверь: ВУ ПВО, 2003.

References

1. Linets G. I. *Sistemnye aspekty teorii sinteza i praktika postroeniia telekommunikatsionnykh setei* [System aspects of the theory of fusion and practice the design of telecommunication networks]. Stavropol, Alfa-Print Publ., 2010. 460 p. (in Russian).

2. Makarenko S. I., Fedoseev V. E. Multichannel communication systems. Secondary networks and subscriber access networks. Tutorial. Saint-Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy Publ., 2014, 179 p. (in Russian).

3. Lialiuik I. N. *C4I: sistemy sviazi, ASU i razvedki vooruzhennykh sil SShA* [C4I: communications systems, automation and intelligence of the armed forces of the United States.]. Moscow, Military aviation technical University, 2000. (in Russian).

4. Bogovik A. V., Ignatov V. V. *Effektivnost' sistem voennoi sviazi i metody ee otsenki* [The effectiveness of military communications systems and assessment methods]. Saint-Petersburg, Military Communications Academy, 2006. 183 p. (in Russian).

5. Budko P. A., Risman O. V. *Mnogourovnevij sintez informacionno-telekommunikacionnykh sistem. Matematicheskie modeli i metody optimizatsii* [Multi-Level Synthesis of Information Telecommunication Systems. Mathematical Models and Methods of Optimization. Treatise]. Saint-Petersburg, Military Academy of the Signal Corps Publ., 2011. 476 p. (in Russian).

6. Isakov E. E. *Ustoichivost' voennoi sviazi v usloviakh informatsionnogo protivoborstva* [The stability of military communications in the conditions of information warfare]. Saint-Petersburg, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, 2009. 400 p. (in Russian).

7. Mikhailov R. L. *Pomekhozashchishchennost' transportnykh setei sviazi spetsial'nogo naznacheniiia. Monografiia* [Noise immunity of transport networks for special purposes. Monograph]. Cherepovets, The Cherepovets higher military engineering school of radio electronics, 2016. 128 p. (in Russian).

8. Ermishian A. G. *Teoreticheskie osnovy postroeniia sistem voennoi sviazi v ob"edineniakh i soedineniakh. Chast 1* [Theoretical basis for the development of

military communication systems in associations and connections. Part 1]. Saint-Petersburg, Military Academy of the Signal Corps Publ., 2006. 740 p. (in Russian).

9. Odoevskiy S. M. *Novye informatsionnye i setevye tekhnologii v sistemakh upravleniia voennogo naznacheniiia. Chast 1. Novye setevye tekhnologii v sistemakh upravleniia voennogo naznacheniiia* [New information and network technologies in control systems for military use. Part 1. New networking technologies in control systems for military use]. Saint-Petersburg, Military Academy of the Signal Corps Publ., 2010. 432 p. (in Russian).

10. Korobitsin A. A., Kudriavtsev A. M., Smirnov A. A. *Informatsionnye i setevye tekhnologii v avtomatizirovannykh sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia* [Information and network technology in automated systems special purpose]. Saint-Petersburg, Military Academy of the Signal Corps Publ., 2015. 132 p. (in Russian).

11. Burenin A. N., Legkov K. E. *Sovremennye infokommunikatsionnye sistemy i seti spetsial'nogo naznacheniiia. Osnovy postroeniia upravleniia* [Modern infocommunication systems and networks for special purposes. Fundamentals of management]. Moscow, Media Publisher, 2015. 348 p. (in Russian).

12. Kobozev Iu. N. *Perspektivy razvitiia sistem sviazi i telekommunikatsii v informatsionno-upravliaiushchikh sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia* [Prospects for the Development of Communication and Telecommunication Systems in Management Information Systems, Special Purpose]. *Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia «Sovremennye tendentsii razvitiia teorii i praktiki upravleniia v sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia»* (Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Telecommunications and Communication in Management Information Systems), vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sistemprom", 2013, pp. 7-9 (in Russian).

13. Sheptura V. N. *Arkhitektura perspektivnoi sistemy sviazi gruppirovki voisk (sil) dlia obespecheniia upravleniia adaptivnymi deistviiami voisk (sil)* [Architecture of Advanced Communication Systems Forces to Ensure Adaptive Management Actions of the Troops]. *Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia «Sovremennye tendentsii razvitiia teorii i praktiki upravleniia v sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia»* (Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Modern Trends in the Theory and Practice of Control Systems for Special Purposes"), vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sistemprom", 2013, pp. 16-20 (in Russian).

14. Legkov K. E., Lediankin I. A. *Osnovnye podkhody k predostavleniiu uslug v infokommunikatsionnykh sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia* [Basic Approaches to the Provision of Services in Information and Communication Systems for Special Purposes]. *Vserossiiskaia nauchnaia konferentsiia «Sovremennye tendentsii razvitiia teorii i praktiki upravleniia v sistemakh spetsial'nogo naznacheniiia»* (Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Telecommunications and Communication in Management Information Systems"), vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sistemprom", 2013, pp. 38-41 (in Russian).

15. Tiurkin M. L., Shadaev M. I., Adzhemov A. S., Ivanov I. P., Dvoriankin S. V., Kuts A. V., Kvitko A. V., Vazhev P. A., Bystrov Iu. A. *Informatsionnye tekhnologii, sviaz' i zashchita informatsii v MVD Rossii* [Information Technology, Communication and Information Protection in the Ministry of Internal

Affairs of Russia]. Moscow, "Company "Information Bridge", 2013, 156 p. Available at: www.informost.ru (accessed 03 February 2017) (In Russian).

16. Abramovich A. V., Gerasimov A. V., Tsibin S. V., Ometov K. S., Bystrov Iu. A. *Sviaz' v Vooruzhennykh silakh Rossiiskoi Federatsii - 2013: tematicheskii sbornik* [Communication in the Armed Forces of the Russian Federation - 2013: Thematic Collection]. Moscow, "Company "Information Bridge" Publ., 2013, 216 p. Available at: www.informost.ru (accessed 03 February 2017) (in Russian).

17. Ivanov S. *Oruzhie i tekhnologii Rossii. Entsiklopediia. XXI vek. Sistemy upravleniia, sviazi i radioelektronnoi bor'by* [Weapons and Technology of Russia. The Encyclopedia. XXI Century. Control Systems, Communications and Electronic Warfare]. Moscow, "Weapons and Technology" Publ., 2006, 695 p. (in Russian).

18. Konovalov O. A., Buslaev A. I., Malikov S. V. Aktual'nye napravleniia razvitiia perspektivnoi sistemy sviazi vooruzhennykh sil [Current Trends in the Development of Advanced Communication Systems of the Armed Forces]. *Proceedings of III readings behalf of the A. S. Popov, Voronezh, Military Training and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy Named after Professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin"*, 2014, pp. 42-44 (in Russian).

19. Makarenko S. I. Prospects and Problems of Development of Communication Networks of Special Purpose. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 2, pp. 18-68. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/02-Makarenko.pdf> (accessed 10 November 2017) (in Russian).

20. Makarenko S. I. Descriptive Model of a Special Purpose Communication Network. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 2, pp. 113-164. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/05-Makarenko.pdf> (accessed 13 November 2017) (in Russian).

21. Antonov D. A., Babich R. M., Balyko Iu. P., Beloglazov I. N., Berninskii E. Ia., Borisov L. V., Vinogradov S. M., Voitenko V. I., Gerasimov A. A., Guzeev B. N., Dotsenko A. V., Zherebin A. M., Zaitsev A. V., Zinich V. S., Insarov V. V., Kislitsyn V. A., Kichigin G. G., Kolpakov K. M., Kornienko V. N., Kravchenko V. S., Kul'chak M. G., Makhov E. A., Nemychenkov I. V., Popov V. A., Pukhov A. L., Seleznev I. S., Sorokin Iu. N., Toporkov N. V., Fedosov E. A., Chervin V. I. *Aviatsiia VVS Rossii i nauchno-tekhnicheskii progress. Boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnia, zavtra* [Aviation of the Russian air force and scientific-technical progress. Combat systems and system yesterday, today, tomorrow]. Moscow, Drofa Publ., 2005. 734 p. (in Russian).

22. Verba V. S. *Aviatsionnye komplekсы radiolokatsionnogo dozora i navedeniia. Printsipy postroeniia, problemy razrabotki i osobennosti funkcionirovaniia. Monografiia* [Aircraft radar patrol and guidance. Principles, problems of development and peculiarities of functioning. Monograph]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2014. 528 p. (in Russian).

23. Makarenko S. I., Ivanov M. S., Popov S. A. *Pomekhozashchishchennost' sistem sviazi s psevdosluchainoi perestroikoi rabochei chastity. Monografiia*

[Interference Resistance Communication Systems with Frequency-Hopping Spread Spectrum. Treatise]. Saint-Petersburg, Svoe Izdatelstvo Publ., 2013, 166 p. (in Russian).

24. Merkulov V. I., Gandurin V. A., Drogalin V. V. and etc. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia* [Aircraft systems control]. Moscow, Air force engineering Academy named after Professor N.E. Zhukovskogo, 2008.

25. Verba V. S., Merkulov V. I. Heoretical and practical problems of designing next generation of radio guidance systems. *Radiotekhnika*, 2014, no. 5, pp. 39-44 (in Russian).

26. Merkulov V. I. Nauchno-tekhicheskie problemy razrabotki aviatsionnykh sistem radioupravleniia [Scientific-technical problems of development of aviation systems radio]. *Nauchnye chteniia po aviatsii, posviashchennye pamiati N.E. Zhukovskogo* [Scientific readings on aviation dedicated to the memory of N. E. Zhukovsky], 2015, no. 3, pp. 43-50 (in Russian).

27. Babich V. K., Bakhanov L. E., Gerasimov G. P., Gindrankov V. V., Grishin V. K., Goroshchenko L. B., Zinich V. S., Karpeev V. I., Levitin V. F., Maksimovich V. A., Polushkin Iu. F., Slatin V. V., Fedosov E. A., Fedunov B. E., Shirokov L. E. *Aviatsiia PVO Rossii i nauchno-tekhicheskii progress: boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnia, zavtra* [Air defense of Russia and scientific-technical progress: combat systems and system yesterday, today, tomorrow]. Moscow, Drofa Publ., 2004. 816 p. (in Russian).

28. Makarenko S. I., Sapozhnikov V. I., Zakharenko G. I., Fedoseev V. E. *Sistemy sviazi* [Radio Communications System]. Voronezh, Military Aviation Engineering University, 2011. 285 p. (in Russian).

29. Komiakov A. V., Vdovin L. M., Kondina I. V., Kulakov D. S. *Sovremennaia otechestvennaia aviatsionnaia apparatura avtomaticheskogo obmena dannymi* [Modern Russian aviation equipment automatic data exchange]. *Elektrosviaz*, 2010, no. 6, pp. 32-37 (in Russian).

30. Komiakov A. V., Voitkevich K. L., Sulima A. A. *Innovatsionnye resheniia dlia perspektivnykh letatel'nykh apparatov* [Innovative solutions for advanced aircraft]. *Delovaia slava Rossii*, 2013, vol. 41, no. 3, pp. 26-27 (in Russian).

31. Belousov E. L., Keistovich A. V., Voitkevich K. L., Briantsev V. F., Saifetdinov Kh. I. *Sovremennoe oborudovanie seti aviatsionnoi elektrosviazi* [Modern equipment of the aeronautical telecommunication network]. *Sistemy i sredstva sviazi, televideniia i radioveshchaniia*, 2012, no. 1-2, pp. 70-73 (in Russian).

32. Belousov E. L., Briantsev V. F., Voitkevich K. L., Keistovich A. V., Saifetdinov Kh. I. *Perspektivnoe bortovoe oborudovanie seti aviatsionnoi radiosviazi* [Perspective avionics network aeronautical telecommunication]. *Transactions of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev*, 2012, vol. 96, no. 3, pp. 11 (in Russian).

33. Voitkevich K. L. *Opyt po sozdaniiu bortovykh kompleksov sviazi dlia samoletov takticheskogo zvena upravleniia* [Experience in creating on-Board communication systems for aircraft tactical control]. *Sistemy i sredstva sviazi, televideniia i radioveshchaniia*, 2009, no. 1-2, pp. 42-43 (in Russian).

34. Scientific-production enterprise "Flight". Official on-line site. [On line resource]. 2017. Available at: <http://www.polyot.atnn.ru> (accessed 6 November 2017) (in Russian).

35. Merkulov V. N., Drogalin V. V., Kanashchenkov A. N., Lepin V. N., Samarin O. F., Solov'ev A. A. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia. Tom 1. Printsipy postroeniia sistem radioupravleniia. Osnovy sinteza i analiza* [Aviation radio system. Volume 1. Principles of systems radioupravlenie. Fundamentals of synthesis and analysis]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2003. 192 p. (in Russian).

36. Merkulov V. I., Konashenkov A. I., Chernov V. S., Dragalin V. V., Antipov V. N., Antsev G. V., Kulabukhov V. S., Lepin V. N., Sarychev V. A., Sablin V. N., Samarin O. F., Tupikov V. A., Turnetskii L. S., Khar'kov V. P. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia. Tom 3. Sistemy komandnogo radioupravleniia. Avtonomnye i kombinirovannye sistemy navedeniia* [Aviation radio system. Volume 3. Command radio control. Autonomous and combined guidance system]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2004. 320 p. (in Russian).

37. Nazarov A. N., Sychev K. I. *Modeli i metody rascheta pokazatelej kachestva funkcionirovaniia uzlovogo oborudovaniia i strukturno-setevykh parametrov setej svyazi sledujushhego pokoleniia* [The Models and the Methods of Measuring of Quality Indicators of Nodal Equipment Functioning and Network Structural Parameters of Next Generation Networks]. Krosnoyarsk, Polykom Publ., 2010. 389 p. (in Russian).

38. Makarenko S. I., Borodinov R. V. *Analiz tekhnologii obespecheniia kachestva obsluzhivaniia v mul'tiservisnykh ATM setiakh* [The Analysis of Technologies to Ensure Quality of Service in Multiservice ATM Networks], *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2012, vol. 73, no. 1, pp. 65-79 (in Russian).

39. Voitkevich K. L., Sulima A. A., Zats P. A. *Problemy postroeniia kanala upravleniia bespilotnymi letatel'nymi apparatami na osnove DKMV-radiolinii* [The problem of constructing a control channel of unmanned aerial vehicles based on dcmu-radio]. *Elektrosviaz*, 2014, no. 7, pp. 9-11 (in Russian).

40. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. *Otsenka effektivnosti setei vozdushnoi radiosviasi pri ispol'zovanii razlichnykh algoritmov mnogostantsionnogo dostupa* [Evaluation of the Effectiveness of the Networks to Air Radio Communications Using Different Algorithms for Multiple Access]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii (Proceedings of the Conference)*, Kaluga, JSC «Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroistv», 2002 (in Russian).

41. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. *Modeli setei radiosviasi, ispol'zuiushchie razlichnye algoritmy mnozhestvennogo dostupa* [Model Radio Communications Networks that use Different Algorithms for Multiple Access Telecommunications]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii (Proceedings of the Conference)*, Kaluga, JSC «Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroistv», 2002 (in Russian).

42. Kleinrock L. *Queueing Systems: Volume II – Computer Applications*. New York: Wiley Interscience. 576 p.

43. Makarenko S. I. Adaptivnoe upravlenie skorostiami logicheskikh soedinenii v kanale radiosviazi mnozhestvennogo dostupa [Adaptive Control Speed Logical Connections in the Radio Multiaccess Channel]. *Information and Control Systems*, 2008, no. 6, pp. 54-58 (in Russian).

44. Makarenko S. I. Military Robots – the Current State and Prospects of Improvement. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 2, pp. 73-132. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-02/04-Makarenko.pdf> (accessed 16 October 2017) (in Russian).

45. Kalyayev I. A., Gaiduk A. R., Kapustin S. G. *Modeli i algoritmy kollektivnogo upravleniia v gruppakh robotov* [Models and algorithms of collective control in groups of robots]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009. 280 p. (in Russian).

46. Gaiduk A. R., Kapustyan S. G. Conceptual aspects of group application of unmanned aerial vehicles. *Journal Information-measuring and Control Systems*, 2012, vol. 10, no. 7, pp. 8-16 (in Russian).

47. Kharkov V. P., Merkulov V. I. Synthesis of an algorithm of hierarchical control of UAVs group. *Journal Information-measuring and Control Systems*, 2012, vol. 10, no. 8, pp. 61-67 (in Russian).

48. Verba V. S., Polivanov S. S. Organizatsiia informatsionnogo obmena v setetsentricheskikh boevykh operatsiiakh [Organization of information exchange in network-centric combat operations]. *Radiotekhnika*, 2009, no. 8, pp. 57-62 (in Russian).

49. Kondratev A. E. Obshchaia kharakteristika setevykh arkhitektur, primeniaemykh pri realizatsii perspektivnykh setetsentricheskikh kontseptsii vedushchikh zarubezhnykh stran [General characteristics of the network architectures used in the implementation of promising network-centric concepts of leading foreign countries]. *Military Thought*, 2008, no. 12, pp. 63-74 (in Russian).

50. Kondratev A. E. Realizatsiia kontseptsii setetsentricheskaia voina v VVS SShA [Implementation of the concept of network-centric warfare in the U.S. air force]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2009, no. 5, pp. 44-49 (in Russian).

51. Makarenko S. I., Berezhnov A. N. Perspektivy ispol'zovaniia setetsentricheskikh tekhnologii upravleniia boevymi deistviiami i problemy ikh vnedreniia v vooruzhennykh silakh Rossiiskoi Federatsii [Prospects of using network-centric technologies for the management of the fighting and problems of their implementation in the armed forces of the Russian Federation]. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2011, vol. 37, no. 4, pp. 64-68 (in Russian).

52. Verba V. S. Airborne warning and control systems as part of network-centric information management system. *Radiotekhnika*, 2014, no. 5, pp. 15-20 (in Russian).

53. Kitkaev S. V. Kontseptsiiia tekhnicheskoi modernizatsii sredstv aviatsionnoi elektrosviazi Rossii [The Concept of Technical Modernization of Aviation's Telecommunication Russia]. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2009, no. 5, pp. 29-33 (in Russian).

54. Voitkevich K. L. *Metody upravleniia trafikom v nazemno-vozdushnykh setiakh sviazi* [Methods of traffic management in ground-air communication

networks. Extended Abstract of Dr. habil. Thesis]. Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie "Polet", 1998, 375 p. (in Russian).

55. Alekhin S. V., Voitkevich K. L. Modelirovanie protokola marshrutizatsii dlia besprovodnykh mobil'nykh setei [Simulation of routing Protocol for wireless mobile networks]. *Elektrosviaz*, 2014, no. 7, pp. 7-8 (in Russian).

56. Voitkevich K. L., Rezvov A. V., Shanin V. N. Spetsializirovannye lokal'nye besprovodnye mobil'nye seti grazhdanskogo i voennogo naznacheniiia [Specialized local mobile wireless network for civilian and military purposes] *Sistemy i sredstva sviazi, televideniia i radioveshchaniia*, 2013, no. 1-2, pp. 130-133 (in Russian).

57. Belousov E. L., Briantsev V. F., Voitkevich K. L., Keistovich A. V., Saifetdinov Kh. I. Issues of developing aviation radio communication equipment on "software-defined radio" principle. *Transactions of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev*, 2012, vol. 95, no. 2, pp. 11-18

58. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Blakitnyi O. A. Problema postroeniia edinoi avtomatizirovannoi sistemy radiosviasi regiona i puti ee resheniia [The Problem of Constructing a Unified Automated Communication Systems of the Region and the Ways of its Solution]. Konferentsiia "Problemy radiosviasi" (Proceedings of the Conference "Problems of radio communication"). Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie «Polet», 1999 (in Russian).

59. Dmitriev A. N., Motin O. V. Model aviatsionnogo UKV kanala obmena dannymi [Model aviation ultrashort-waves communication channel]. *Tezisy dokladov nauchno tekhnicheskoi konferentsii* (Proceedings of the Conference), Kaluga, JSC "Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv", 2002 (in Russian).

60. Dmitriev A. N., Maksimov A. V. Optimizatsiia aviatsionnykh setei obmena dannymi [Optimization of aviation networks data communication]. *Sbornik trudov X nauchno tekhnicheskoi konferentsii "Problemy radiosviasi"* (Proceedings of the Conference Title «Problems of radio communication»), Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie "Polet", 1999 (in Russian).

61. Motin O. V. Model' funktsionirovaniia aviatsionngo UKV kanala obmena dannymi [The Model of Functioning Aviation Ultrashort-waves Communication channel]. *XXIV voenno-nauchnaia konferentsiia molodykh uchenykh*. (Proceedings of the Conference Title XXIV military-scientific conference of young scientists), Shchyolkovo, 30 tsentral'nyi nauchno-issledovatel'skii institut Ministerstva oborony Rossiiskoi Federatsii, 2001 (in Russian).

62. Makarenko S. I. Osobennosti raspredeleniia resursov radio seti upravleniia aviatsionnymi kompleksami perekhvata v usloviakh var'irovaniia intensivnosti informatsionnogo obmena [Features of resource allocation radio network control aircraft interception complexes in terms of the variation of the intensity of data exchange]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "VIII nauchnye chteniia po aviatsii, posviashchennye pamiati N.E. Zhukovskogo"* (Proceedings of the 8nd All-Russian Cientific Conference on Aviation, Dedicated to the Memory of N. E. Zhukovsky). Part 2, Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2007, 118 p. (in Russian).

63. Makarenko S. I. Zadacha adaptivnogo upravleniia propusknoi sposobnost'iu kanalov seti vozdushnoi radiosviasi v usloviakh kvazistatsionarnosti potokov dannykh [The task of the adaptive bandwidth control channel network air radio in conditions of quasi-stationarity of data streams]. *Sbornik dokladov konferentsii «Problemy sovershenstvovaniia boevykh aviatsionnykh kompleksov, povyshenie effektivnosti ikh ekspluatatsii i remonta»* (Proceedings of All-Russian Scientific and Technical Conference “Problems of improving combat airplane, increasing the efficiency of their operation and repair”), Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 2007, pp. 25-28 (in Russian).

64. Makarenko S. I. Raschet parametrov algoritma adaptivnogo raspredeleniia propusknoi sposobnosti kanalov navedeniia v seti vozdushnoi radiosviasi. [Calculation of parameters of the algorithm adaptive bandwidth channel capacity of guidance channel in the air network radio channel] *Sbornik dokladov iubileinoi Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi shkoly-seminara «Problemy sovershenstvovaniia boevykh aviatsionnykh kompleksov, povyshenie effektivnosti ikh ekspluatatsii i remonta»* (Proceedings of All-Russian Scientific and Technical Conference “Problems of Improving Combat Airplane, Increasing the Efficiency of Their Operation and Repair”), Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 2007, pp. 28-33 (in Russian).

65. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Organizatsiia upravleniia silami i sredstvami aviatsii regiona [Organization Management of Forces and Means of Air in the Region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

66. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Zadachi boevogo upravleniia edinoi sistemy vozdushnoi radiosviasi v komplekse punktov upravleniia aviatsionnoi gruppirovkoi regiona [The tasks of command and control of a unified system of air communication in the complex control of the aviation group of the region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

67. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Funktsional'naia model' protsessa upravleniia aviatsii regiona [Functional model of the process control aviation in the region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

68. Gimbitskii V. A. Analiz sistemy vozdushnoi radiosviasi v chastiakh istrebitel'noi aviatsii [Analysis of the air communication system in parts of fighter aircraft]. *Tematicheskii nauchno-tekhnicheskii sbornik filiala VoЕННО-vozdushnai inzhenernai akademii imeni N. E. Zhukovskogo*, Stavropol, 2005, no. 26 (in Russian).

67. Gimbitskii V. A., Bakum A. N. Sovershenstvovaniia boevogo upravleniia aviatsiei PVO [Improvement of Command and Control Air Anti-Aircraft Defence]. *Abstracts of Papers 18 Scientific Technical Conference of Cadet of Stavropol Higher Military Aviation Engineering College*, Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 1996 (in Russian).

38. Gimbitskii V. A. Analiz sistemy vozdushnoi radiosviazi v chastiakh dal'nei aviatsii i VTA [Analysis of the air communication system in parts of long-range aviation and military transport aircraft]. Tematicheskii nauchno-tekhnicheskii sbornik filiala Voenno-vozdushnai inzhenernai akademii im. N.E. Zhukovskogo, Stavropol, 2005, no. 26 (in Russian).

71. Kalinin V. I. Metodika otsenki veroiatnosti obsluzhivaniia abonentov s trebuemoi dostovernost'iu v zone obsluzhivaniia stantsii radiodostupa [The method of estimating the probability of customer service with the required accuracy in the service area of the radio access station]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg's Scientific-Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

72. Kalinin V. I. Prostranstvennye modeli zon obsluzhivaniia sistem sviazi s podvizhnymi ob"ektami [Spatial models of service areas of communication systems with mobile objects]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg's Scientific-Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

73. Kalinin V. I. Potokovye setevye modeli v sistemakh sviazi s podvizhnymi ob"ektami [Streaming network models in communication systems with mobile objects]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg's Scientific-Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

74. Gotsutsov S. Iu. Sovershenstvovanie avtomatizirovannykh sistem upravleniia vozdushnym dvizheniem na osnove tekhnologii kommutatsii paketov. Diss. kand. tehn. nauk [Improvement of Automated Systems of Air Traffic Control Based on the Technology of Packet Switching. Ph.D. Tesis]. Moscow, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2007, 211 p. (in Russian).

75. Kalimulina E. Iu. *Razrabotka i issledovanie analiticheskikh modelei nadezhnosti i ikh primenenie dlia optimizatsii territorial'no-raspredeleennykh setei.* Diss. kand. tehn. nauk [Research and development of analytical reliability models and their application to optimization of geographically distributed networks. Ph.D. Tesis], Moscow, Moscow Technical University of Communications and Informatics, 2009, 222 p. (in Russian).

76. Morozov A. N. *Modelirovanie aviatsionnykh nazemnykh fiksirovannykh setei peredachi dannykh dlia organizatsii vozdushnogo dvizheniia v usloviakh defitsita iskhodnykh dannykh.* Diss. kand. fiz.-mat. nauk [Modeling aviation ground fixed data networks for air traffic management in conditions of deficiency of the original data. Ph.D. Tesis]. Moscow, Moscow Institute of Physics and Technology, 211 p. (in Russian).

77. Koliadov D. V., Prokhorov A. V. Vliianie iavleniia odnovremennoi peredachi vyzovov na rabotu sistem upravleniia vozdushnym dvizheniem [Effect of Simultaneous Transmissions Phenomenon on Air Traffic Control Systems

Functionality]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2014, no. 204, pp. 82-87 (in Russian).

78. Koliadov D. V., Prokhorov A. V. Realizatsiia perspektivnoi sistemy kommutatsii rechevoi sviazi dlia upravleniia vozdushnym dvizheniem [Implementation of Next-Generation Voice Communication System for Civil Aviation]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2013, no. 193, pp. 55-58 (in Russian).

79. Prokhorov A. V., Bondar' D. S. Primenenie apparatury shirokopolosnogo radiodostupa v lokal'nykh setiakh sviazi i peredachi dannykh sistem upravleniia vozdushnym dvizheniem [Application of Means of Broadband Radio Access in Local Communication Networks and Data Transmission for Systems of Air Traffic Management]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2012, no. 176, pp. 93-100 (in Russian).

80. Skorovarov A. S. Puti povysheniia effektivnosti funktsionirovaniia aviatsionnykh sredstv obmena informatsiei s PPRCh v usloviakh pomekh [Method of pseudorandom reorganization of working frequency]. *Sbornik trudov X Nauch.Tekhn. Konferentsii "Problemy radiosviasi"* (Proceedings of the Conference «Problems of Radio Communication»). Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie «Polet», 1999 (in Russian).

81. Mikhailov R. L. An Analysis of the Scientific and Methodological Apparatus of Coordination Theory And Its Use in Various Fields of Study. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 4, pp. 1-29. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2016-04/01-Mikhailov.pdf> (accessed 5 November 2017) (in Russian).

82. Makarenko S. I. The Countermeasures of the Radio Networks with the Random Multiple Access by Changing the Radionet State to Non-Stable. *Radio electronics journal*, 2011, no. 9. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf> (accessed 03 February 2017) (in Russian).

83. Makarenko S. I. Estimation of quality of service in radio network with package transmitting in unstationary mode under influence of external destructive factors. *Radio Electronics Journal*, 2012, no. 6. Available at: <http://jre.cplire.ru/jre/jun12/9/text.pdf> (accessed 03 February 2015) (in Russian).

84. Keistovich A. V., Milov V. R. *Vidy radiodostupa v sistemakh podvizhnoi sviasi* [The types of radio access in system of mobile communication]. Moscow, Goriachaia liniia-Telekom Publ., 2015. 278 p. (in Russian).

85. Nazarov S. N. Approach to the solution of the problem of determining the topology of the network of the radio communication of decametric range with its integration into the system of the aviation electrical communication. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, 2010, no. 152, pp. 36-39 (in Russian).

86. Nazarov S. N. Principles of the realization of the three-dimensional resource of decametric radio communication in the system of aviation electrical communication with the solution of the problems of the air traffic control. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, 2010, no. 152, pp. 40-44 (in Russian).

87. Shorin O. A. *Metody optimal'nogo raspredeleniia chastotno-vremennogo resursa v sistemakh podvizhnoi radiosviazi. diss. doktora tekhn. nauk* [Methods the Optimal Allocation of Time-Frequency Resource in Mobile Radio Systems. Dr. habil. thesis]. Moscow, Moscow Technical University of Communications and Informatics, 2005, 351 p. (in Russian).

88. Nazarov S. N., Shagarova A. A. The analysis of application of areas of the taken out repeaters for wireless aviation telecommunication. *Digital Signal Processing*, 2011, vol. 1, no. 2, pp. 213-214 (in Russian).

89. Nazarov S. N., Shagarova A. A. Sovmestnoe ispol'zovanie vynesennykh zon retransliatorov dlia obmena soobshcheniiami s vozdushnymi sudami na razlichnykh aviatrassakh [Sharing made areas of repeaters for communicating with the aircraft on various routes]. *Digital Signal Processing*, 2011, vol. 1, no. 2, pp. 215-217 (in Russian).

90. Aganesov A. V. Model of Radio Network with CSMA/CA Protocol. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 1, pp. 67-97. Available at: <http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-01/06-Aganesov.pdf> (accessed 16 October 2017) (in Russian).

91. Aganesov A. V., Makarenko S. I. Aerospace communications network model with traffic routing hierarchical principle. *Radio and telecommunication systems*, 2015, no. 4, pp. 43-51 (in Russian).

92. Aganesov A. V., Ivanov M. S., Popov S. A., Shunulin A. V. Increasing space-air communications system network bandwidth using Mesh technology in interworking systems. *Radio Communication Theory and Equipment*, 2016, no. 2, pp. 12-16 (in Russian).

93. Aganesov A. V., Ivanov M. S., Popov S. A. Application Mesh-технологий in systems of the gateway exchange for the purpose of increase of throughput of communication channels. *Okhrana, bezopasnost, sviaz*, 2017, no. 1-1. pp. 196-203 (in Russian).

94. Aganesov A. V., Makarenko S. I. Model of united air-space network with decentralized traffic routing based on Mesh technology. *Infocommunicacionnye tehnologii*, 2016, no. 1, pp. 7-16 (in Russian).

95. Aganesov A. V., Makarenko S. I. The traffic balancing method between aero and space segments in aerospace network based on Mesh-technology. *H&ES Research*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 17-25 (in Russian).

96. Aven O. I., Gurin N. N., Kogan Ia. A. *Otsenka kachestva i optimizatsiia vychislitel'nykh sistem* [Quality assessment and optimization of computing systems]. Moscow, Nauka Publ., 1982.

97. Bogdanov A. E., Popov S. A., Ivanov M. S., Berezin A. V. Compensatory ways of struggle against aim hindrances on frequency in systems of an aviation radio communication using pseudo-casual reorganisation of working frequency. *Radiotekhnika*, 2013, no. 8, pp. 81-85 (in Russian).

98. Bogdanov A. Ye., Popov S. A., Ivanov M. S. Prospects of warfare using network-centric technologies. *Military Thought*, 2014, no. 3, pp. 3-12 (in Russian).

99. Legkov K. E. Methods of increase productivity of wireless mesh-networks of a special purpose. *T-Comm*, 2011, no. 3, pp. 46-48 (in Russian).

100. Kulakov M. S. Analysis of functioning of mobile self-organizing networks MANET on the media access control layer MAC. *T-Comm*, 2014, no. 10, pp. 39-42 (in Russian).

101. Kulakov M. S. Primenenie algoritmov samoorganizatsii dlia rezhima VDL-2 [Application of algorithms of self-organization for VDL mode-2]. *Fundamentalnye problemy radioelektronnogo priborostroeniia*, 2012, vol. 5, no. 5, pp. 58-62 (in Russian).

102. Vasiliev D. S., Abilov A. V. Improving quality of video streaming in Fanets using pull-push approach. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 4, pp. 45-50 (in Russian).

103. Kaysina I. A., Vasiliev D. S., Abilov A. V. Analysis of Efficiency for AODV and OLSR Routing Protocols in Flying Ad Hoc Networks. *Bulletin of Kalashnikov ISTU*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 87-90 (in Russian).

104. Shamonov M. Iu., Abilov A. V. Mobil'nye samoorganizuiushchiesia seti bespilotnykh letatel'nykh apparatov FLYING AD HOC NETWORKS (FANETS) [Mobile ad-hoc network of unmanned aerial vehicles FLYING AD HOC NETWORKS (FANETS)]. *Priborostroenie v XXI veke - 2016. Integratsiia nauki, obrazovaniia i proizvodstva Sbornik materialov XII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* (Instrument-making in XXI century in 2016. Integration of science, education and production the Collection of materials of XII International scientific-technical conference), 2017, pp. 542-550 (in Russian).

105. Siliakov V. A., Krasiuk V. N. *Sistemy aviatsionnoi radiosviazi* [Aviation radio]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 2004. 160 p. (in Russian).

106. Kuzmin B. I. *Seti i sistemy aviatsionnoi tsifrovoi elektrosviazi* [Network and system aviation digital telecommunications], In 3 volumes. Saint-Petersburg, Research institute of economy and information electronics, 1999, 2000, 2003.

107. Kul'chitskii V. K., Meshalov R. O., Zhuravlev S. S. *Sistemy, komplekсы i sredstva aviatsionnoi elektrosviazi* [Systems, complexes and means of aviation telecommunication]. Saint-Petersburg, Svoe izdatelstvo Publ., 2015.

108. Kudriakov S. A., Kul'chitskii V. K., Povarenkin N. V., Ponomarev V. V., Rubtsov E. A., Sobolev E. V., Sushkevich B. A. *Radiotekhnicheskoe obespechenie poletov vozdushnykh sudov i aviatsionnaia elektrosviaz'* [Radio-technical flight support of aircraft and aeronautical telecommunications]. Saint-Petersburg, Svoe izdatelstvo Publ., 2016.

109. Bresler I. B., Gorbach A. N., Lanchev V. M., Polushin K. V., Pshenitsyn A. A., Smirnova E. V., Uglovskii E. P. *Sredstva sviazi protivovozdushnoi oborony VVS* [Means of communication, air defense, air force]. Tver, Military Academy of aerospace defense named after Marshal of the Soviet Union G. K. Zhukov, 2003.

Статья поступила 13 ноября 2017 г.

Информация об авторе

Смирнов Сергей Владимирович – соискатель ученой степени кандидата наук. Старший преподаватель кафедры эксплуатации бортового авиационного радиоэлектронного оборудования. ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: маршрутизация трафика, воздушные сети радиосвязи, Mesh-технологии. E-mail: web-shark@mail.ru

Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а.

Analysis of Researches in Field of Aeronautical Telecommunication and Justification of New Ways of Improvement of Radio Network of AWACS

S. V. Smirnov

Relevance. At the present time, aerospace forces of Russia are applied outside of Russia. In this case, main of task is to control the aircrafts when ground control stations are not available. For this reason the airborne warning and control system (AWACS) is used as an air command post to control the aircrafts. However, the bandwidth of an existing radio networks is insufficient in the control of a large number of aircraft from AWACS. Thus, justification of new ways of improvement of the radio network of AWACS is topical theme of research. **The aim of paper** is study of research result in field of aviation communication and justification of new ways of improvement of the radio network of AWACS. **Results and their novelty.** The article made an analysis of more than a hundred sources which are studied improving a radio communications for both civilian and military aviation. The analysis show that existing ways of increasing performance of communication systems of civil aviation is difficult to apply to the radio network of AWACS for control of combat aircrafts. Perspective way of improvement of the communication system AWACS is using of Mesh-technology. This technology will allow organizing the decentralized radio network and providing a net-centric control of aircrafts from AWACS. In this case AWACS to be main element of the radio network of control of aircrafts and it to be coordinate and organize the network communication and distribution of the network resources. **Practical significance.** The presented analysis is useful technical and military experts to substantiate new ways of improving systems of control and communication both civilian and military aircraft. In particular, the analysis results are important for the justification of new technical solutions for radio network of control system of AWACS.

Keywords: control system, aviation, AWACS, communication system, radio network of control system of AWACS.

Information about Author

Sergei Vladimirovich Smirnov – Doctoral Student. Senior Lecturer of Department of Exploitation of Aircraft Electronic Equipment. Military Training and Research Center of the Air Force “Military Air Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Ju. A. Gagarin”. Field of research: traffic routing, air communication networks, Mesh-networks. E-mail: web-shark@mail.ru

Address: Russia, 355000, Voronezh, Street of Old Bolsheviks, 54a.