

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБОСНОВАНИЕ ЗАДАЧ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ВОЗДУШНОЙ РАДИОСВЯЗИ БОЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИЕЙ ЗА СЧЕТ АДАПТАЦИИ КАНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ К ПАРАМЕТРАМ ПЕРЕДАВАЕМОГО В НИХ ТРАФИКА

*А.В. Пономорев, преподаватель кафедры «Авиационного радиоэлектронного оборудования»
Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков, dimalex25@bk.ru*

УДК 623.465

Аннотация. Целью работы является анализ исследований, связанных с развитием сетей авиационной радиосвязи, которые представлены в известных работах, и обоснование перспективных путей модернизации системы связи управления авиацией. Проведен анализ более 100 источников, посвященных проблемам развития как гражданской, так и военной авиационной радиосвязи. В результате анализа были выявлены проблемные вопросы, связанные с отсутствием адаптивности сетей воздушной радиосвязи к интенсивности передаваемого по ним трафика. Показано, что перспективным направлением совершенствования систем воздушной радиосвязи управления авиацией является разработка научно-методического аппарата повышения скорости передачи данных в сетях связи управления авиацией путем адаптивного распределения частотно-временного ресурса сети с учетом интенсивности трафика, передаваемого по каналам управления владельческими аппаратами.

Ключевые слова: система управления; авиация; система связи; командная радиолиния управления; сеть воздушной радиосвязи; трафик.

ANALYSIS OF RESEARCH AND JUSTIFICATION OF PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF AVIATION RADIO COMMUNICATION NETWORKS FOR COMBAT CONTROL OF AVIATION BY ADAPTING THE CONTROL CHANNELS OF AIRCRAFT TO THE PARAMETERS OF THE TRAFFIC TRANSMITTED IN THEM

Alexey Ponomorev, lector of the «Aviation radio-electronic equipment department of the Krasnodar higher military aviation school of pilots».

Annotation. The aim of this work is the analysis of research related to the development of networks aviation radio communication presented in the famous work and justification of the perspective ways of modernization of communication systems of aircraft control. The analysis of more than a hundred sources devoted to the problems of development of both civil and military aviation radio communications was made. The analysis revealed problematic issues related to the lack of adaptability of air radio networks to the intensity of traffic transmitted through them. A promising direction of improvement of the air radio control aircraft is the development of scientifically-methodical device of increase of data transmission speed in the communication networks of the aircraft control by the adaptive allocation of time-frequency resources of the network taking into account the intensity of traffic on the control channels of the aircraft.

Keywords: control system; aviation; communication system; command radio control; air radio network; traffic.

В настоящее время стремительно развиваются сетевые информационные технологии, а их внедрение в достаточно консервативную отрасль специальной связи в виде 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 расширением 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. При этом анализ проблем и перспектив развития систем специальной связи достаточно полно представлен в работах О.А. Коновалова [1] и С.И. Макаренко [2, 3].

Особенную роль среди сетей специальной связи играют сети воздушной радиосвязи (СВРС), предназначенные для управления военной авиацией. Развитие данных сетей 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.

Общим проблемам управления авиацией при решении задач нанесения ударов и отражения воздушного нападения посвящены работы научной школы академика РАН Е.А. Федосова [4, 5]. Вопросам управления авиации с воздушных пунктов управления (ПУ) посвящена фундаментальная работа генерального конструктора РФ по системам и комплексам разведки, дозора и управления авиационного базирования, а также комплексам с беспилотными летательными аппаратами чл.-корр. РАН В.С. Вербы [6]. Основы организации радиоуправления летательными аппаратами (ЛА) посвящены работы научной школы В.Н. Меркулова [7-9]. При этом особенности управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) рассматриваются в работах К.Л. Войткевича, А.А. Сулимы, П.А. Зац [10], С.И. Макаренко [11], А.Р. Гайдука, С.Г. Капустина И.А. Каляева [12, 13], В.И. Меркулова и В.П. Харькова [14].

Как отмечается в данных работах современной тенденцией развития систем управления ЛА и БПЛА является их переход к сетевым принципам. Особенности реализации данного сетевого принципа управления силами и средствами представлены в работах В.С. Вербы, С.С. Поливанова [15], Е.А. Кондратьева [16], С.И. Макаренко [17, 18], А.Е. Богданова, С.А. Попова, М.С. Иванова [19]. Однако переход к принципам управления авиацией потребует пересмотра принципов организации авиационной радиосвязи и информационного обеспечения ЛА. А именно – повышения скоростей каналов управления ЛА, а также пропускной способности СВРС в целом. Так как именно СВРС является технической основой доведения команд управления и информации о тактической обстановке управляемым ЛА, и вопрос рациональной организации связи – является одним из важнейших вопросов управления ЛА при ведении ими боевых действий. Обеспечение повышения скорости передачи данных по каналам управления ЛА в СВРС, а также их адаптацию к особенностям передаваемого трафика в каналах управления ЛА возможно вести за счет перехода к прогнозированию интенсивности трафика в каналах управления ЛА и на основе этого прогноза – упреждающему распределению частотно-временного ресурса СВРС с учетом этапов полета различных ЛА и прогнозируемым объемом передаваемого трафика.

Вопросам совершенствования СВРС управления военной и гражданской авиации посвящены работы: С.В. Смирнова [20-22, 24, 27], С.И. Макаренко [23, 24, 27, 28, 38, 43, 62-64, 82, 83, 91, 94, 95], М.С. Иванова [23, 24, 27, 92, 93, 97], С.А. Попова [23, 24, 27, 92, 93, 97], В.И. Меркулова [7-9, 25, 26], А.В. Комякова [29, 30], К.Л. Войткевича [10, 30-33, 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], А.В. Абилова [49-51], О.А. Блакитного [58], В.А. Гимбицкого [65-70], И.И. Сныткина [65, 66, 67], В.И. Калинина [71-73], С.Ю. Гоцуцова [74], Э.Ю. Калимулиной [75], А.Н. Морозова [76], А.В. Прохорова [77-79], 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].

Общие принципы организации связи в системах управления воздушным движением (УВД) гражданской авиации представлены в работах В.А. Силякова, В.Н. Красюка [44], Б.И. Кузьмина [45], В.К. Кульчицкого [46, 47].

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 в УВД. 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, а также особенности 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 децентрализованных сетей информационного обмена для группы гражданских БПЛА рассмотрены в работах А.В. Абилова [49-51], а также в работе Р.В. Киричка [39].

При этом необходимо отметить, что результаты вышеуказанных работ, только в ограниченном варианте применимы к СВРС боевого управления авиацией. Для СВРС боевого управления свойственны такие специфические 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 боевом управлении авиацией представлены в работах Е.А. Федосова [5], С.И. Макаренко, В.И. Сапожникова, Г.И. Захаренко, В.Е. Федосеева [28], В.Н. Меркулова [7-9 25, 26], В.С. Вербы [25], В.М. Ланчева [48], А.В. Кейстовича, В.Р. Милова [87].

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 [10], 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 ЛА истребительной и фронтовой авиации.

В работах С.В. Смирнова [20-22, 24, 27], С.И. Макаренко [24, 27, 91, 94, 95], А.В. Аганесова [90-95], М.С. Иванова, С.А. Попова [24, 27, 92, 93, 97], А.Е. Богданова [97], рассмотрены вопросы 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 фактор существенного варьирования интенсивности трафика в канале управления ЛА, возможности прогнозирования объема данного трафика с последующим упреждающим распределением частотно-временного ресурса СВРС по каналам управления ЛА с учетом сделанного прогноза.

Необходимо отметить, что общий подход к упреждающему распределению частотно-временного ресурса сетей связи не является принципиально новым. В настоящее время известны работы Е.А. Новикова, А.А. Ковальского, С.Х. Зиннурова, Д.Р. Уткина [34-37, 42, 52, 96, 98, 99], посвященные предварительному прогнозированию интенсивности трафика, поступающего от абонентов, и последующего распределения частотно-временного ресурса в спутниковых системах связи с учетом сделанного прогноза. Вместе с тем данные работы ориентированы на стандарт спутниковой связи DVB-RSC и не учитывают специфику СВРС боевого управления ЛА. Предполагается, приняв за основу общий теоретический подход, представленный в работах Е.А. Новикова, А.А. Ковальского, С.Х. Зиннурова, Д.Р. Уткина [34-37, 42, 52, 96, 98, 99], адаптировать его к специфике авиационных СВРС боевого управления ЛА авиации путем учета особенностей протоколов сетевого взаимодействия, используемых в СВРС, а также сигнально-кодовых конструкций, используемых в каналах управления ЛА. Дополнительными факторами, которые также необходимо учесть в исследовании и которые определяют его новизну, являются нестационарность передаваемого по каналам управления трафика, а также содержание информационных сообщений и команд, которые передаются в СВРС на различных этапах полета ЛА. Идеологически, указанные направления исследований продолжают и развивают более раннее исследование С.И. Макаренко [43], направленное на адаптацию параметров каналов радиоуправления ЛА к особенностям их боевого применения.

Вывод

Таким образом, проведенный анализ ранее опубликованных работ в исследуемой предметной области позволил сформулировать противоречие в науке – *между* необходимостью повышения скорости передачи данных в СВРС путем адаптивного распределения частотно-временного ресурса СВРС с учетом интенсивности передаваемого по каналам управления ЛА трафика *и* невозможностью разработки такого научно-обоснованного решения на основе современного уровня развития научно-методического аппарата теории телеграфика.

Для разрешения сформулированного противоречия в науке необходимо решить научную задачу разработки моделей и методик повышения скорости передачи данных в СВРС управления ЛА путем адаптивного распределения частотно-временного ресурса СВРС с учетом интенсивности передаваемого по каналам управления ЛА трафика.

Литература

1. 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.
2. 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).
 3. 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).
 4. 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.
 5. 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., Федунов 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.
 6. Верба В. С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования. Монография. – М.: Радиотехника, 2014. – 528 с.
 7. Меркулов В. И., Гандурин В. А., Дрогалин В. В. и др. Авиационные системы радиоуправления: учебник для военных и гражданских ВУЗов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2008.
 8. Меркулов В. И., 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.
 9. 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.
 10. 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.
 11. 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).
 12. Каляев И. А., Гайдук А. Р., Капустин С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит. 2009. – 280 с.
 13. 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.
 14. Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимизация иерархического управления группой БЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2012. – Т. 10. – № 8. – С. 61-67.

15. Верба В. С., Поливанов С. С. Организация информационного обмена в сетевых операциях // Радиотехника, 2009. – № 8. – С. 57-62.
16. Кондратьев А. Е. Общая характеристика сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевых концепций ведущих зарубежных стран // Военная мысль, 2008. – № 12. – С. 63-74.
17. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетевая война - принципы, технологии, примеры и перспективы. Монография. – СПб: Научное издательство «Лань», 2018. – 898 с.
18. 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.
19. Богданов А. Е., Попов С. А., Иванов М. С. Перспективы ведения боевых действий с использованием сетевых технологий // Военная мысль, 2014. – № 3. – С. 3-12.
20. 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> (дата обращения 15.08.2018).
21. Смирнов С. В. Анализ способов и средств управления авиацией с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения // Системы управления, связи и безопасности, 2017. – № 2. – С. 69-100. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/03-Smirnov.pdf> (дата обращения 15.08.2018).
22. Смирнов С. В. Модель сети воздушной радиосвязи для управления авиацией с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения // Системы управления, связи и безопасности, 2017. – № 2. – С. 165-181. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/06-Smirnov.pdf> (дата обращения 15.08.2018).
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. Смирнов С. В., Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Единая сеть воздушной радиосвязи управления авиацией с АК РЛДН основанная на децентрализованном принципе ретрансляции информационных потоков // Инфокоммуникационные технологии, 2018. – Т. 16. – № 1. – С. 57-68.
25. Верба В. С., Меркулов В. И. Теоретические и прикладные проблемы разработки систем радиоуправления нового поколения // Радиотехника, 2014. – № 5. – С. 39-44.
26. Меркулов В. И. Научно-технические проблемы разработки авиационных систем радиоуправления // Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского, 2015. – № 3. – С. 43-50.
27. Смирнов С. В., Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Единая сеть воздушной радиосвязи управления авиацией с АК РЛДН основанная на иерархическом принципе ретрансляции информационных потоков // Системы управления, связи и безопасности. 2018. – № 3. – С. 54-68. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-03/04-Smirnov.pdf> (дата обращения 15.08.2018).
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. Новиков Е. А., Павлов А. Р., Зиннуров С. Х. Метод оперативного планирования частотно - временного ресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений // Авиакосмическое приборостроение, 2014. – № 5. – С. 14-23.
35. Новиков Е. А., Зиннуров С. Х. Модель гибкого обслуживания трафика сложной структуры и алгоритм оперативного резервирования дополнительных каналов в земных станциях спутниковой связи // Системы управления, связи и безопасности, 2017. – № 1. – С. 98-115.
36. Новиков Е. А., Уткин Д. Р., Шадрин А. Г., Квасов М. Н. Оценка своевременности связи при передаче мультисервисного трафика в сети спутниковой связи специального назначения // Системы управления, связи и безопасности, 2018. – № 1. – С. 136-155.
37. Новиков Е. А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационно-управляющие системы, 2014. – № 2 (69). – С. 79-86.
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. Киричек Р. В. Разработка и исследование комплекса моделей и методов для летающих сенсорных сетей. Дис. ... докт. техн. наук. – СПб: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, – 276 с.
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. Новиков Е. А. Применение моделей структурной динамики при решении задачи распределения частотно-временного ресурса сети спутниковой связи на основе стандарта DVB-RCS // Информационно-управляющие системы, 2013. – № 3 (64). – С. 78-83.
43. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы, 2008. – № 6. – С. 54-58.
44. Силяков В. А., Красюк В. Н. Системы авиационной радиосвязи: Учебное пособие / Под ред. В.А. Силякова. – СПб: ГУАП, 2004. – 160 с.
45. Кузьмин Б. И. Сети и системы авиационной цифровой электросвязи: учебное пособие. В 3-х частях. – СПб: ОАО «НИИЭИР», 1999, 2000, 2003.
46. Кульчицкий В. К., Мешалов Р. О., Журавлев С. С. Системы, комплексы и средства авиационной электросвязи / Под ред. С.А. Кудрякова. – СПб: Свое издательство, 2015.
47. 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.
48. 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.

49. 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.
50. 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.
51. 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.
52. Ковальский А. А. Организация адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки // Системы управления, связи и безопасности, 2017. – № 1. – С. 175-212.
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 СПбНТОРЭС 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 СПбНТОРЭС 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 СПбНТОРЭС 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 надежности и их применение для оптимизации территориально-распределенных сетей: дис. ... канд. техн. наук по спец. 05.13.13 / Калимулина Эльмира Юрьевна. – М.: МТУСИ, 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. 2-2. – 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. ... д.т.н. по спец. 05.12.13 / Шорин Олег Александрович. – Москва. МТУСИ: 2005. – 351.
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 // Научные технологии в космических исследованиях Земли, 2016. – Т 7. – № 1. – С. 17-25.

96. Митряев Г. А., Новиков Е. А., Уткин Д. Р. Модель прогнозирования пользовательской нагрузки в обратном канале сети спутниковой связи на основе вейвлет-преобразования // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды II межвузовской научно-практической конференции. – СПб.: ВАС, 2017. – С. 140-143.
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. Топорков И. С., Ковальский А. А., Зиннуров С. Х. Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании разнородного нестационарного трафика // Известия Института инженерной физики, 2016. – Т. 1. – № 39. – С. 37-47.
99. Зиннуров С. Х., Ковальский А. А., Кузичкин А. В. Динамическое распределение радиоресурса ретранслятора с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении // Известия Института инженерной физики, 2014. – Т. 4. – № 34. – С. 51-56.
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.