

УДК 004.72

Модель сети воздушной радиосвязи на основе протокола случайного множественного доступа CSMA/CA

Аганесов А. В.

Постановка задачи. Создание объединенных воздушно-космических сетей связи актуализирует вопросы решения задач маршрутизации и ретрансляции сообщений в них. При этом необходимо обеспечить заданное качество обслуживания трафика. **Целью работы** является разработка модели сети воздушной радиосвязи, в которой передача данных ведется по протоколу случайного множественного доступа с предотвращением коллизий. В основу данной модели положена известная модель ненастойчивого множественного доступа. На основе данной модели предполагается провести исследование влияния транзитного трафика на эффективную пропускную способность сети и время передачи сообщений в ней. **Используемые методы.** В основу модели сети воздушной радиосвязи положена известная модель ненастойчивого множественного доступа с учетом специфики ретрансляции транзитного трафика. **Новизна.** Элементами новизны представленной модели являются учет нагрузки транзитных соединений. **Результат.** Исследование на основе разработанной модели показало, что транзитный трафик существенно влияет на показатели сети. При возрастании количества транзитных соединений происходит рост эффективной пропускной способности на 10-20%, а время задержки сообщений в сети возрастает в 2-2,5 раза. Такой рост задержки передачи сообщений не позволяет передавать по сети трафик критичный к задержкам и как следствие актуализирует вопросы ретрансляции трафика через космический эшелон связи. **Практическая значимость:** представленную модель в дальнейшем предполагается использовать для обоснования возможностей по ретрансляции транзитных соединений в воздушных сетях связи. Данные результаты в дальнейшем будут использованы для математического обеспечения маршрутизаторов абонентов воздушно-космических сетей связи, построенных с использованием Mesh-технологий. Так же возможна реализация на основе протокола OpenFlow для программно-конфигурируемых сетей SDN.

Ключевые слова: сеть связи, ретрансляция, маршрутизация, сеть воздушной радиосвязи, CSMA.

Актуальность

В настоящее время в соответствии с перспективной концепцией построения систем связи специального назначения предполагается переход к много эшелонированному принципу построения объединенных систем связи Вооруженных сил (ВС). При этом при построении систем связи предполагается в максимальной степени задействовать коммерческие и открытые стандарты и протоколы.

Как показал анализ современных технологических решений по построению систем связи [1-8] в основу современной сети связи будут положены принципы бесшовного взаимодействия отдельных эшелонов объединенной сети связи ВС. Ретрансляция сообщений между отдельными сетями, потребует создания новых технологических решений по обеспечению ретрансляции информационных потоков, и как следствие увеличит информационную нагрузку на сети за счет транзитного трафика. Для обеспечения заданного качества обслуживания пользовательского трафика в объединенной сети связи требуется выработать единые протоколы ретрансляции информационных потоков с учетом дополнительной нагрузки

создаваемой транзитными соединениями. Данная задача особенно актуальна для сетей воздушной радиосвязи (СВРС) в УКВ диапазоне. Так как именно на них, в условиях проведения военной операции, планируется возложить информационное обеспечение авиации и ретрансляцию информационных потоков от подразделений сухопутных войск, и от развертываемых в районе операции разведывательных сетей на основе БПЛА. Кроме того, как показано в работах [9-14] СВРС доступны наземным и авиационным средствам радиоэлектронного подавления, что существенно затрудняет ретрансляцию информационных потоков. Вышеуказанные факторы определяют актуальность разработки модели СВРС, с учетом нагрузки транзитных соединений, как составной части более общей задачи, а именно: разработки научно-методического аппарата решения задачи маршрутизации в воздушно-космических сетях связи с заданным качеством обслуживания.

Постановка задачи

В работе решается задача разработка модели СВРС с учетом нагрузки транзитных соединений. Для разрешения данной задачи необходимо решить следующие частные:

- 1) провести анализ технических и протокольных решений по ретрансляции информационных потоков в СВРС;
- 2) разработать модель СВРС с учетом нагрузки транзитных соединений.

Анализ технических и протокольных решений по ретрансляции информационных потоков в СВРС

Анализ современных и перспективных технических решений на основе работ [6, 7, 15, 16] показал, что в основу воздушного эшелона будут положены системы обмена данными (СОД) в интересах которых, за счет перспективных средств и комплексов связи, будут развернуты отдельные СВРС обеспечивающие высокоскоростной цифровой информационный обмен. СОД будут обладать высокой совместимостью с наземными средствами радиосвязи и обеспечивать бесшовную ретрансляцию информационных потоков. В таблице 1 приведены основные характеристики существующих и разрабатываемых систем обмена данными по материалам из [15]. В настоящее время получила широкое применение СОД на базе ТКС-2 (ТКС-2М), однако наибольшей эффективностью обладает система ОСНОД, которая в настоящее время планируется к использованию в перспективных СВРС.

Технической основой перспективных СОД воздушного эшелона станет, комплекс связи С-111, который не только обеспечит летательные аппараты (ЛА) фронтовой, истребительной и армейской авиации высокоскоростной цифровой связью, но и будет использоваться совместно с наземными подразделениями сухопутных войск. Для этого в радиостанциях комплекса связи предусмотрен режим помехозащищенной связи ППРЧ-Б.

Таблица 1 – Характеристики систем обмена данными

№	Характеристики	ТКС-2 (ТКС-2М)	ОСНОД
1	Назначение	Типовой комплекс связи для обмена телекодовой информацией	Объединенная система связи, обмена данными, навигации и опознавания
2	Виды сетей обмена данных	СОД между самолетами, между ПУ и самолетами	Сеть обмена всеми видами информации между АК, между АК и ПУ, между ПУ
3	Возможность закрытия	Есть	Есть
4	Количество абонентов	20	1800
5	Объем сообщения, бит	1024	1024, 2048
6	Возможность автоматической ретрансляции сообщений	Есть	Есть
7	Диапазон частот	ДКМВ, МВ-ДМВ	ДМВ

* ТКС-2М отличается от ТКС-2 циклограммой работы и составом передаваемой информации.

ТТХ комплекса связи С-111 значимые для решения задач ретрансляции информационных потоков представлены в таблице 2 по данным работ [7, 15, 17].

Информационный обмен внутри СВРС будет вестись с помощью универсальных кодограмм – УКВС, которые в зависимости от длины сообщения состоят из 1-го, 2-ух, 3-ех или 4-ех блоков по 256 бит в каждом блоке, то есть составляют сообщения объемом 256, 512, 768 и 1024 бит. При этом на максимальное время доставки УКВС накладывается ограничения связанные с режимом реального времени управления авиацией и необходимостью передачи информационного трафика критичного к задержкам (речь, видео). Несмотря на то, что существующие стандарты передачи информационных сообщений военного управления определяют граничные значения времени доведения в несколько секунд, к сообщениям голосового управления, а также к трафику фото и видеоданных поступающего от разведывательных средств на БПЛА в режиме реального времени предъявляются гораздо более жесткие требования, обусловленные используемым кодеком информации (таблицы 3, 4) [18, 19].

Таблица 2 – Некоторые ТТХ перспективного комплекса связи

№	Характеристика	Значение
1	Скорости передачи данных, кбит/с: - ДКМВ - МВ-ДМВ - ОСНОД (эффект.) - СМВ - спутниковая линия связи ЕССС-2 (ЕССС-3) ДМВ-2	до 2,4 до 16 до 40 (100) до 34 400 до 2,4 (до 2048)
2	Количество одновременно обслуживаемых сетей	до 38
4	Направлений связи: - ДКМВ - МВ-ДМВ - ОСНОД (эффект.) - СМВ - спутниковая линия связи ЕССС-2 (ЕССС-3) ДМВ-2	1 2 1 1 1
5	Дальность связи, км: - в направлении «земля-борт» для ДКМВ - в направлении «земля-борт» для МВ-ДМВ, ОСНОД - в направлении «борт-борт» для МВ-ДМВ, ОСНОД	1500 350 500

Таблица 3 - Требования к качеству услуг,
предоставляемых мультисервисными сетями связи [18, 19]

Тип дан-ных	Название услуги	Требуемая скорость передачи	Параметры качества услуги		
			Задержка, мс	Джиттер	Потери, %
Аудио	Телефония	4-64 кбит/ с	<150 мс (отличное QoS); <400 мс (допустимое QoS)	<1 мс	<3%
	Передача голоса	4-32 кбит /с	<1 с (для воспроизведения); <2 с (для записи)	<1 мс	<3%
	Звуковое вещание	16-128 кбит/ с	<10 с	<<1 мс	<1%
Видео	Видео-конференция	>384 кбит/с	<150 мс (отличное QoS); <400 мс (допустимое QoS)		<1%
Данные	Просмотр WEB-страниц	~ 10 кБ	<2 с/стр. (отличное QoS); <4 с/стр. (допустимое QoS)	-	0
	Передача файлов	10 кБ – 10 МБ	<15с (отличное QoS); <60 с (допустимое QoS)	-	0
	Передача изображений	100 кБ	<15с (отличное QoS); <60 с (допустимое QoS)	-	0
	Доступ к электронной почте	<10 кБ	<2 с (отличное QoS); <4 с (допустимое QoS)	-	0
	Факс	~ 10 кБ	<30с/ стр.	-	< 10 ⁻⁶ BER

Таблица 4 - Допустимые значения параметров качества обслуживания при передаче мультимедийного трафика [18, 19]

Тип сервиса	Параметры качества обслуживания				
	Время установления соединения, с	Вероятность разрыва соединения	Задержка, мс	Джиттер, мс	Вероятность потери данных
IP-телефония	0,5-1	10^{-3}	25-500	100-150	10^{-3}
Видеоконференция	0,5-1	10^{-3}	30	30-100	10^{-3}
Цифровое видео по запросу	0,5-1	10^{-3}	30	30-100	10^{-3}
Передача данных	0,5-1	10^{-6}	50-1000	-	10^{-6}
Телевизионное вещание	0,5-1	10^{-8}	1000	-	10^{-8}

Порядок ретрансляции сообщений СОД по СВРС определяется алгоритмом многостанционного доступа (АМСД) к разделяемой среде передачи (базовая частота работы радиостанций абонентов СОД). В случае СВРС разделяемой средой является общий канал множественного доступа (КМД). В настоящее время в современных СОД при доступе к КМД используются следующие АМСД [17, 20, 21]:

- 1) АМСД «запрос-ответ», в соответствии с которым передача сообщений абонентам осуществляется только в ответ на полученный запрос;
- 2) АМСД «по расписанию», отличающегося тем, что каждый абонент передает сообщения в назначенное время относительно начала сеанса передачи;
- 3) АМСД «работа по сеансам», по которому каждый абонент сети передает сообщение в заданный расписанием связи момент времени;
- 4) Алгоритм случайного многостанционного доступа (АСМСД), представляет возможность передавать сообщения в любой свободный момент времени на основе случайного обращения абонентов к КМД.

Каждому вышеприведенному АМСД соответствует своя модель на базе которой ведется исследования СВРС, построенной на данном типе АМСД. Однако исследования [20-22] показали, что эффективность различных АМСД по критерию максимизации вероятностно-временных характеристик (ВВХ) доставки сообщения существенно отличается (см. рис. 1-3).

На рис. 1-3 приведены результаты моделирования информационного обеспечения авиационных комплексов (АК) с пункта управления (ПУ) в единой СВРС с различными АМСД. По оси абсцисс отложено время доставки информации, а по оси ординат - вероятность того, что время доставки примет данное или менее значение.

Моделирование проводилось со следующими ограничениями:

- пропускная способность СВРС: 1,2 кбит/с (соответствует АПД ТКС-2), 4,8 кбит/с (соответствует АПД ТКС-2М);
- количество АК в СВРС: $N_{AK} = 4, 12$.

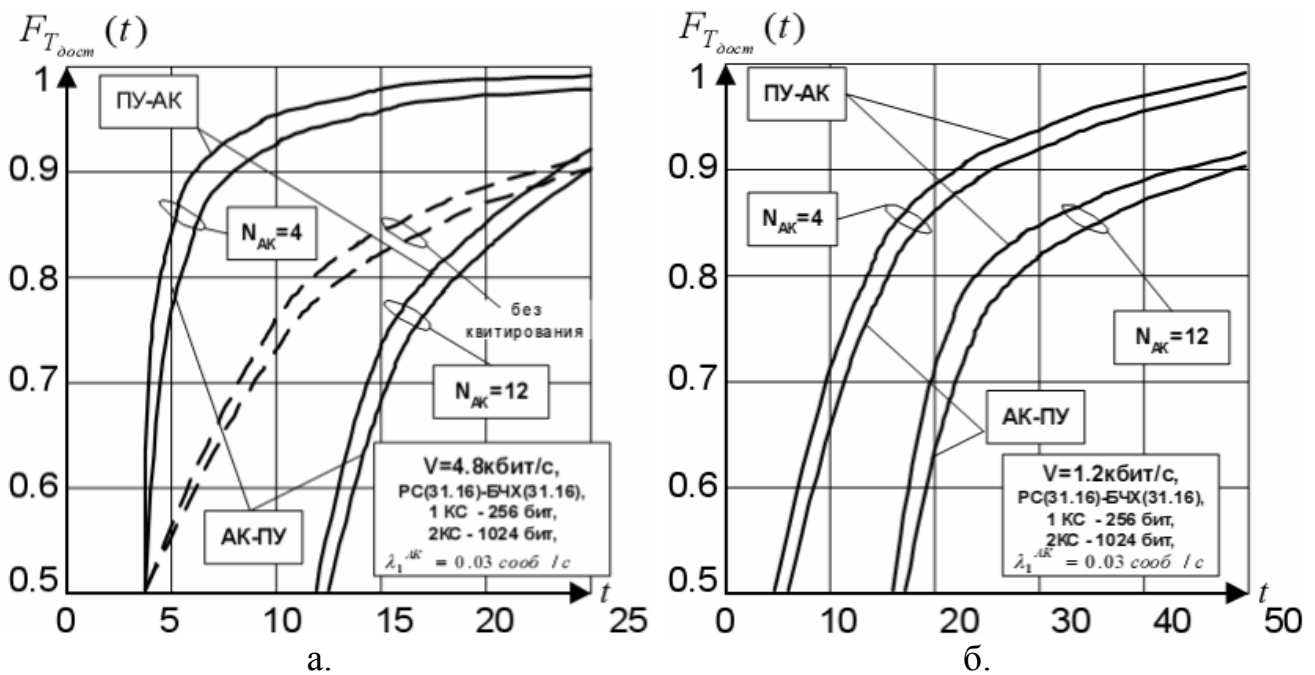


Рис. 1. BBX процесса доставки при АМСД «запрос-ответ»

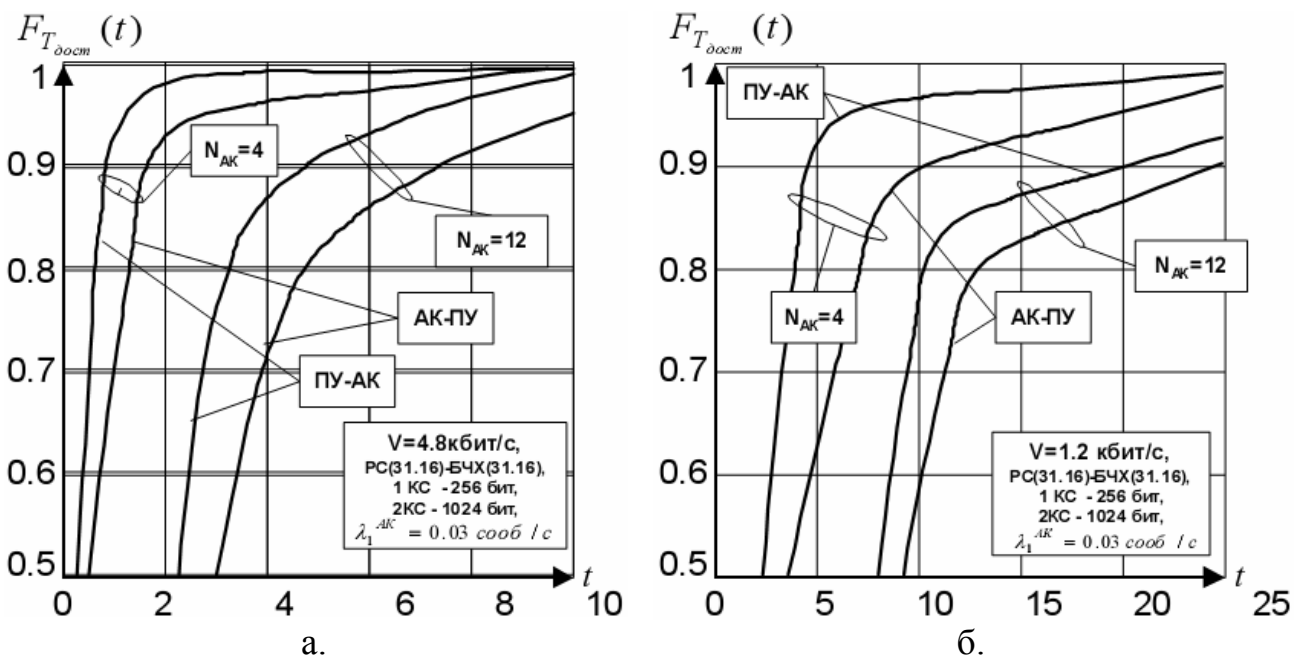


Рис. 2. BBX процесса доставки при АМСД с временным разделением КМД (АМСД «по расписанию» и «работа по сеансам»)

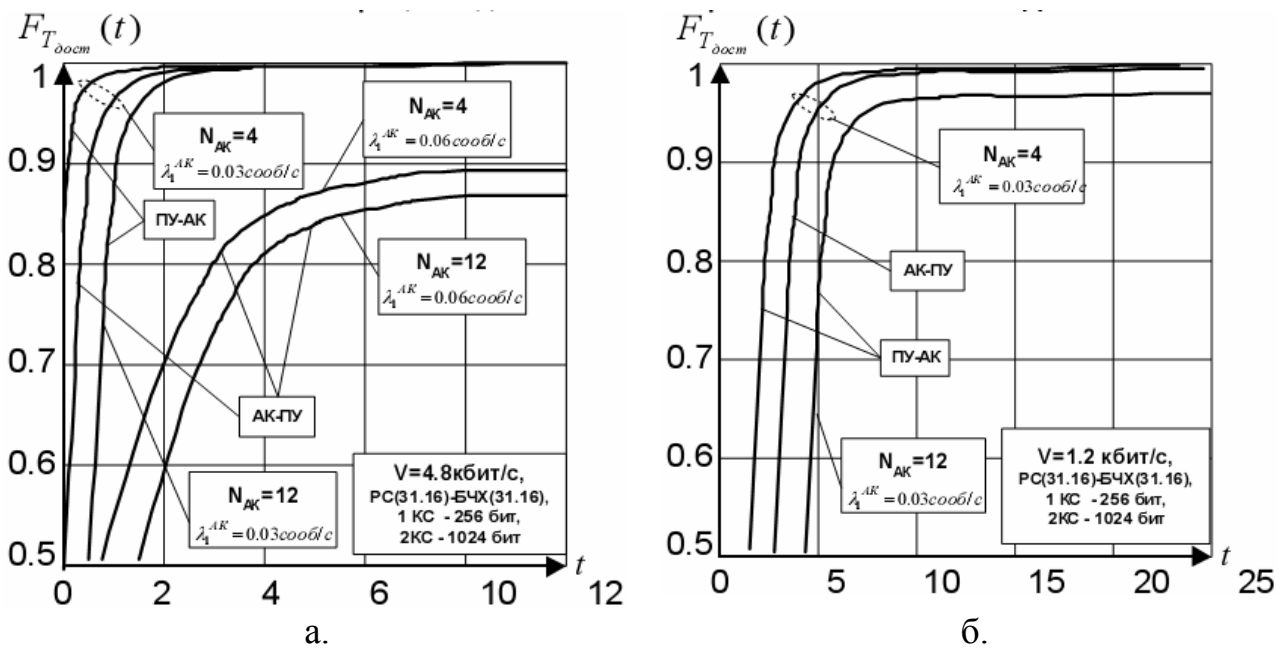


Рис. 3. BBX процесса доставки при АСМСД

Анализ результатов моделирования по применению вышеуказанных АМСД в СВРС позволяет сделать следующие выводы:

- Использование АМСД «запрос-ответ» не позволяет в полной мере удовлетворить потребности системы управления по управлению АК. Так при управлении 12 АК и выполнения требований по передаче УКВС объемом 1024 бит длительность цикла сеансов связи может достигать 24 с, при этом потребуется организация 3-ех функционально независимых подсетей ВРС (по 4 АК в каждой) и как следствие дополнительному расходу канальных ресурсов. А требования по передаче коротких сообщений 1-ой категории срочности (объемом 256 бит) не выполняются даже на скорости 4,8 кбит/с (см. рис. 1).
- Использование АМСД с временным разделением (АМСД «по расписанию» и «работа по сеансам») позволяет приблизиться к выполнению BBX доставки сообщений в СВРС для сообщений 1-ой категории срочности (объемом 256 бит) при управлении 12 АК (рис. 2). В работе [23] указывается что цикл обмена с 1АК составляет 0,5 с, а с группой из 12 АК – до 12 с, на скорости 4,8 кбит/с. Целесообразное применение данного АМСД связывается с перспективами реализацией в ТКС-2М скорости передачи 16 кбит/с, только в этом случае данный АМСД в некоторой мере будет удовлетворять требованиям по BBX передачи сообщений.
- Использование АСМСД (рис. 3) позволяет выполнить требования BBX передачи сообщений объемом до 1024 бита на скорости 4,8 кбит/с (стандартная скорость АПД ТКС-2М) при одновременном управлении 12 АК. К достоинствам данного АМСД следует отнести высокую пропускную способность и инвариантность к количеству абонентов. Основным недостатком АСМСД является высокая чувствительность

алгоритма к росту интенсивности входного трафика. Несмотря на указанный недостаток именно АМСД является наиболее перспективным для применения в СВРС.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в перспективе обмен сообщениями в СВРС воздушного эшелона будут базироваться на АСМСД. Применение же других АМСД обусловлено устаревшими АПД находящейся на наземных терминалах и ЛА. То есть, модель СВРС должна соответствовать КМД АСМСД как наиболее перспективному из применяемых в настоящее время (с учетом того, что с развитием СОД он вытеснит применение остальных АМСД). Фактически АСМСД соответствует протоколу случайного множественного доступа с предотвращением коллизий - CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance). Следовательно, СВРС целесообразно будет представить в виде КМД со случайным доступом на основе CSMA/CA, а базовой моделью используемой для оценки можно использовать модель СМО «Ненастойчивого множественного доступа с проверкой несущей» [22].

Анализ ранее проведенных исследований в области ретрансляции информационных потоков в СВРС

Вопросы совершенствования системы связи для управления авиацией являются актуальными. Проблематике совершенствования систем связи управления авиацией посвящены работы: Федосова Е.А. [15], Киткаева С.В. [24], Коновалова О.А., Буслаева А.И., Маликова С.В. [8].

В известной литературе вопросы организации СВРС и управления ее ресурсами в интересах информационного обеспечения действий авиации исследовались в работах: Дмитриева А.Н. [20, 21, 25-27], Мотина О.В. [20, 21, 28], Максимова А.В. [20, 21, 27], Блакитного О.А. [25], Войткевича К.Л. [29], Макаренко С.И. [11, 30-32], Гимбицкого В.А. [33-38], Сныткина И.И. [33, 34, 35], Калинина В.И. [39, 40, 41], Гоцуцова С.Ю. [42], Калимулиной Э.Ю. [43], Морозова А.Н. [44], Прохорова А.В. [45, 46, 47], Колядова Д.В. [45, 46], Бондаря Д.С. [47].

Наиболее фундаментальной работой в области маршрутизации и ретрансляции трафика в авиационных СВРС является работа Войткевича К.Л. [29]. В данной работе фактически описаны основополагающие подходы к ретрансляции трафика в СВРС управления авиацией, рассмотрена применимость различных алгоритмов поиска путей в интересах задачи маршрутизации и ретрансляции трафика в объединенных наземно-воздушных сетях. В работах Гоцуцова С.Ю. [42] Калимулиной Э.Ю. [43] и Морозова А.Н. [44] рассматривались различные аспекты маршрутизации трафика управления воздушным движением (УВД) в СВРС на основе гражданских средств связи, с учетом фактора надежности каналов. В работах Прохорова А.В. [45, 46, 47], Колядова Д.В. [45, 46], Бондаря Д.С. [47] рассмотрены вопросы обслуживания трафика критичного к задержкам в СВРС УВД. Однако данные работы в основном касались принципов УВД гражданской авиации и не учитывали особенностей управления боевой авиацией. В частности в данных работах не

учитывались возможности быстрого возрастания объема передаваемых данных при дополнительном информационном обеспечении АК, на этапах атаки цели и ведении воздушного боя.

Особенности построения СВРС для управления боевой авиацией рассмотрены в работах: Дмитриева А.Н. [20, 21, 25, 26, 27], Мотина О.В. [20, 21, 28], Максимова А.В. [20, 21, 25, 27], Блакитного О.А. [25], Макаренко С.И. [23, 30-32], Гимбицкого В.А. [33-38], Сныткина И.И. [33-35]. В частности в работах Дмитриева А.Н., Мотина О.В., Максимова А.В., Блакитного О.А. [20, 21, 25-28] рассмотрены вопросы оценки организации СВРС на основе различных АМСД, а также эффективности информационного обмена в них. В работах Гимбицкого В.А. и Сныткина И.И. [33-38] рассмотрены вопросы построения эффективной системы связи управления авиацией региона на основе иерархических СВРС, а также порядок ретрансляции информационных потоков в них, при управлении массированными действиями разнородной группировки авиации. В работах Макаренко С.И. [23, 30-32] рассмотрены вопросы эффективного управления ресурсами СВРС для достижения заданной пропускной способности, в интересах информационного обеспечения истребительной авиации.

В работах Скороварова А.С. [49], Борисова В.И., Зинчука В.М., Лимарева А.Е. [14], Семисошенко М.А. [50], Макаренко С.И. [13, 51, 52], Иванова М.С., Попова С.А. [13], Владимирова В.И. [53], Бабусенко С. И. [54, 55] рассмотрены различные аспекты обеспечения помехозащиты СВРС и их функционирования в условиях преднамеренных помех.

В работах Калинина В.И. [39-41], Шорина О.А. [48] рассматриваются особенности управления ресурсами СВРС при обеспечения заданного качества обслуживания для высококомобильных абонентов.

Вместе с тем, в вышеуказанных работах [13, 49-55] не рассматриваются возможности ретрансляции части информационного трафика через космический эшелон, а также не учитываются возможности ретрансляции транзитных потоков через СВРС. В работах по помехозащищенности СВРС Скороварова А.С., Борисова В.И., Зинчука В.М., Лимарева А.Е., Семисошенко М.А., Макаренко С.И., Иванова М.С., Попова С.А. [13, 14, 49, 50] рассматриваются только параметры физического уровня, не рассматриваются эффекты от снижения пропускной способности СВРС как результата воздействия преднамеренных помех. В работах Владимирова В.И., Бабусенко С. И., Макаренко С.И. [9-12, 53-55] подробно рассмотрены эффекты от воздействия преднамеренных помех на сетевом уровне и их влияние на ретрансляцию информационных потоков, но при этом в показателях СВРС не учитывалась связность сети СВРС, а также дополнительная транзитная нагрузка.

Таким образом, новизной данной работы является решение задачи моделирования СВРС с учетом транзитной нагрузки на сеть, а также учет воздействия преднамеренных помех через снижение пропускной способности КМД.

Модель сети воздушной радиосвязи на основе протокола случайного множественного доступа CSMA/CA

Проведем моделирование СВРС на основе АСМСД взяв за основу модель «Ненастойчивого множественного доступа с проверкой несущей (МДПН)» из работы [22] и описание алгоритма CSMA/CA в работе [56].

Алгоритм работы пользователя (терминала) в модели представляет собой следующую последовательность действий:

- 1) если канал свободен, то терминал передает пакет;
- 2) если канал занят, то терминал откладывает свою передачу на более позднее время, в соответствии с распределением задержки повторной передачи. Когда наступает это время, терминал вновь проверяет канал и повторяет описанный алгоритм.

Общий алгоритм функционирования алгоритма CSMA/CA приведен на рис. 4 [56].

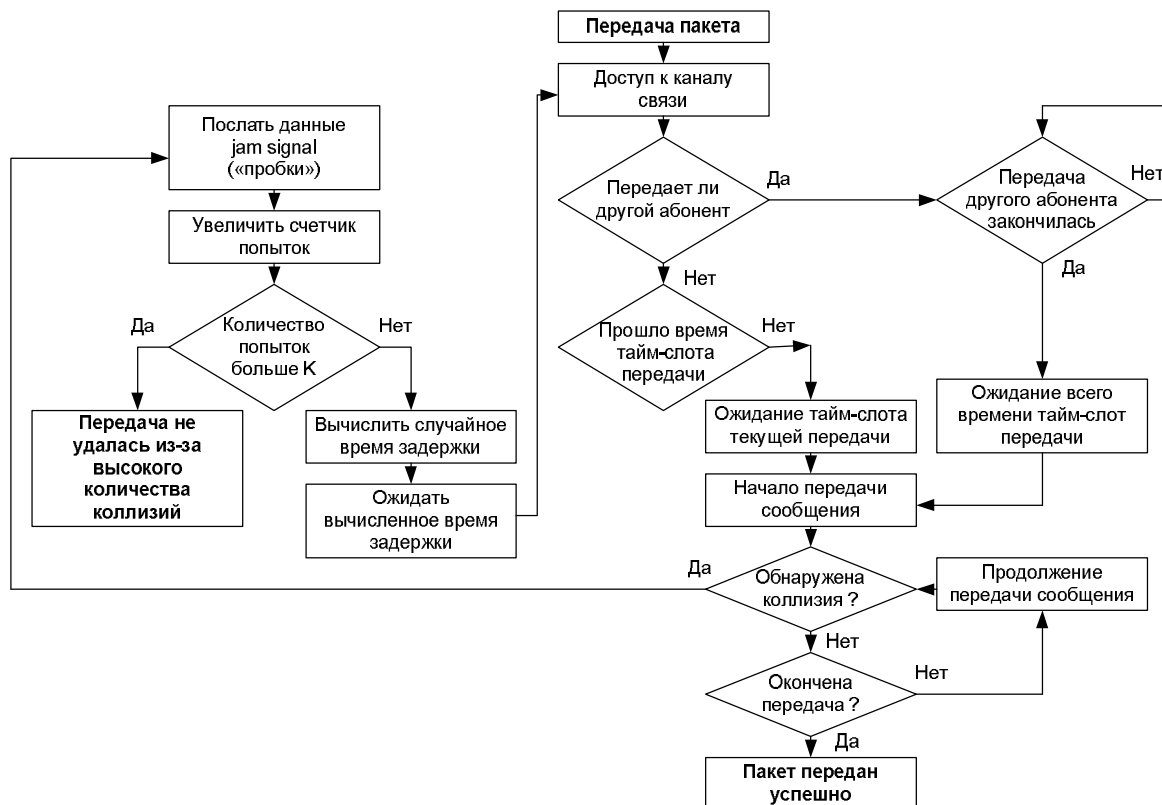


Рис. 4. Общий алгоритм функционирования алгоритма CSMA/CA [56]

Исходными данными для построения модели являются:

M – количество пользователей (терминалов) совместно использующих спутниковый канал.

P_{win} – длина пакета, выраженная через время передачи пакета (длина окна).

S_m – вероятность, что передача m -го терминала прошла успешно, нормированная к длине окна.

$S = \sum_{m=1}^M S_m$ – среднее количество успешных передач на окно, приходящееся

на все терминалы.

G_m – вероятность, что m -ый пользователь передает пакет в каком либо окне.

$G = \sum_{m=1}^M G_m = 1$ – средний трафик в канале, определяемый как число попыток

передач пакетов за время окна P_{win} .

T – среднее время, в числе окон, за которое пакет будет успешно принят.

S/G – вероятность успешной передачи абонента в СВРС.

G/S – среднее число необходимых попыток передач пакета, пока не произойдет его успешная передача.

a – максимальное время распространения в одну сторону, нормированное ко времени окна.

K – задержка повторной передачи в количестве окон, равномерно распределенная со средним значением K единиц на окно.

β – нормированное время до получения квитанции. Предполагается, что блокированный пакет или потерпевший наложение пакет задерживается на время до получения квитанции.

D_{mes} – длина пакета в битах.

C – пропускная способность канала в бит/с.

C_e – эффективная пропускная способность канала в бит/с.

T_m – ограничение на максимальное время жизни пакета (обязательное условие для систем реального времени) в секундах.

t – время жизни пакета на момент поступления в передающий терминал.

T_a – время задержки пакета в канале в секундах.

λ – интенсивность информационного потока в бит/с поступающий в терминал СВРС.

Λ_1 – общая интенсивность трафика в одной СВРС.

k_{vn} – коэффициент определяющий долю трафика СВРС отправляемого в другие смежные сети.

k_{kv} – коэффициент определяющий долю трафика в СВРС приходящегося на квитанции об успешной доставке информационных пакетов. Фактически значение k_{kv} показывает, что на каждые $1/k_{kv}$ пакетов информационного трафика, приходится один пакет квитанции об успешной доставке.

Ограничения модели: канал является бесшумным; все терминалы находятся в пределах прямой видимости; полагается, что квитанции прибывают надежно и; рассматриваемая модель действительна при наличии большого числа равномерно «слабых» пользователей. Результаты модели получены в приближении, что нагрузка сети стремится к нулю.

Допущения модели: все терминалы находятся в зоне видимости друг от друга, скрытые терминалы отсутствуют; все терминалы статистически одинаковы, доминирующие источники отсутствуют; трафик в канале представляет собой независимый процесс; источники образуют суммарный

независимый процесс который является Пуассоновским; нагрузка сети стремится к нулю.

Среднее число успешных передач за окно длиной P_{win} определяется как [22]:

$$S = \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-aG}}, \quad (1)$$

Средняя задержка пакета выраженная в количестве окон [22]:

$$T = \left(\frac{G}{S} - 1 \right) (2a + 1 + \beta + K) + 1 + a \quad (2)$$

Выразим параметры модели через абсолютные величины. Параметр a в (1) и (2) зависит от радиуса радио-сети (максимальное расстояние между самыми удаленными терминалами сети) [22]:

$$a = \frac{d_{\max} / c}{P_{win}} = \frac{d_{\max} C}{c D_{mes}}, \quad (3)$$

где $c=300\,000$ км/с – скорость распространения электромагнитных волн; $d_{\max}$ – максимальное расстояние между самыми удаленными терминалами СВРС в км определяется в соответствии с данными таблицы 2.

Получим зависимости для C_e и T_a от λ_m , C . Длина окна явным образом зависит от длины сообщения и пропускной способности канала:

$$P_{win} = \frac{D_{mes}}{C} \quad (4)$$

Интенсивность поступления пакетов в терминал эквивалентна количеству порождаемых этим терминалом пакетов, длиной D_{mes} бит, за время длительности окна. То есть:

$$G_m = \frac{\lambda P_{win}}{D_{mes}},$$

откуда следует

$$G = \frac{P_{win}}{D_{mes}} \sum_{m=1}^M \lambda_m = \frac{D_{mes}}{C / D_{mes}} \sum_{m=1}^M \lambda_m = \frac{M \lambda}{C} = \frac{\Lambda_1}{C}. \quad (5)$$

Учтем в составе поступающего в СВРС трафика дополнительный транзитный трафик, доля которого определяется коэффициентом k_{vn} . В этом случае общий трафик в СВРС будет:

$$\Lambda_1 (1 + k_{vn}).$$

В случае когда, в СВРС дополнительно используется квитирование успешных передач пакетов, и доля трафика квитанций составляет k_{kv} ($k_{kv}=0 \dots 1$) от информационного трафика, то общий трафик в СВРС будет:

$$\Lambda_1 (1 + k_{vn}) (1 + k_{kv}). \quad (6)$$

тогда

$$G = \frac{\Lambda_1 (1 + k_{vn}) (1 + k_{kv})}{C}. \quad (7)$$

Эффективная пропускная способность канала определяется, как количество успешных передач сообщений длиной D_{mes} бит, за время P_{win} и равна:

$$C_e = S \frac{D_{mes}}{P_{win}} = S \frac{D_{mes}}{D_{mes} / C} = SC \quad (8)$$

Подставляя (1), (3), (5) в (8), с учетом (6) получим выражение для определения среднего количества успешных передач на окно. Учитывая что S – нормированная величина и выражая эффективную скорость канала через C_e получим:

$$\begin{aligned} C_e = SC = C \frac{\frac{1}{C} \Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv}) e^{-\frac{d_{max}}{cD_{mes}} \Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv})}}{\frac{\Lambda_1}{C} \left(1 + 2 \frac{d_{max} C}{cD_{mes}} \right) (1+k_{vn})(1+k_{kv}) + e^{-\frac{d_{max} C}{cD_{mes}} \frac{1}{C} \Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv})}} = \\ = \frac{\Lambda_1 C (1+k_{vn})(1+k_{kv}) e^{-\frac{d_{max} \Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv})}{cD_{mes}}}}{\Lambda_1 \left(1 + 2 \frac{d_{max} C}{cD_{mes}} \right) (1+k_{vn})(1+k_{kv}) + C e^{-\frac{d_{max} \Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv})}{cD_{mes}}}}. \end{aligned} \quad (9)$$

Определим время задержки в секундах из выражения (2). Параметр β , отвечающий за доставку квитанции не зависит от параметров канала в модели, рассмотренной в [22], что определяется введенными в модель ограничениями. Если из [22] убрать ограничения, что квитанции доставляются надежно по отдельному каналу и без затрат, получим: квитанции доставляются по тому же каналу. В этом случае из (2) с учетом выражения (6) получим β , как задержку пакета квитанции, который не требует квитанции успешного приема:

$$\beta = \left(\frac{S}{G} - 1 \right) (2a + 1 + K) + 1 + a \quad (10)$$

Тогда выражение для времени задержки, выраженной в секундах будет определяться из (2) и (10):

$$\begin{aligned} T_a = \frac{D_{mes}}{C} \left[\left(\frac{2G}{S} - 1 \right) \left(\frac{2G}{S} (2a + K + 1) + 1 + a \right) \right] = \\ = \frac{D_{mes}}{C} \left[\left(\frac{2\Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv})}{SC} - 1 \right) \left(\frac{2\Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv})}{SC} (2a + K + 1) + 1 + a \right) + 1 + a \right], \end{aligned} \quad (11)$$

где: G определяется из выражением (7), a выражением (3), а S определяется равенством:

$$S = \frac{\Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv}) e^{-\frac{d_{max}}{cD_{mes}} \Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv})}}{\Lambda_1 \left(1 + 2 \frac{d_{max} C}{cD_{mes}} \right) (1+k_{vn})(1+k_{kv}) + C e^{-\frac{d_{max}}{cD_{mes}} \Lambda_1 (1+k_{vn})(1+k_{kv})}}. \quad (12)$$

В случае если квитирование в СВРС не применяется, то выражение (11), будет иметь вид:

$$T = \left(\frac{\Lambda_1 (1+k_{vn})}{S} - 1 \right) (2a + 1 + K) + 1 + a,$$

с учетом того, что в выражении (12) для S значение $k_{kv}=0$.

Отметим, что для систем реального времени накладывается ограничение на максимальное время доставки пакета по сети - T_m . Для выражения (32) K является варьируемым параметром, однако необходимо наложение условия, при котором передача заявки имеет смысл. При превышении времени нахождения в сети t максимально допустимого порога T_m передача заявки теряет смысл. Поэтому на K накладывается ограничение:

$$K \leq \frac{T_m - t}{P_{win}}$$

Учитывая (4) получим критерий соответствия доставки пакетов трафика условиям представленным в таблицах 2 и 3:

$$K \leq \frac{C(T_m - t)}{D_{mes}} \quad (13)$$

Таким образом, получим выражения для эффективной пропускной способности и задержки передачи трафика в СВРС со АСМСД по протоколу CSMA/CA.

$$\left\{ \begin{array}{l} S = \frac{\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})e^{-\frac{d_{\max}}{cD_{mes}}\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}}{\Lambda_1\left(1+2\frac{d_{\max}C}{cD_{mes}}\right)(1+k_{vn})(1+k_{kv}) + Ce^{-\frac{d_{\max}}{cD_{mes}}\Lambda_1(1+k_{vn})(1+k_{kv})}} \\ C_e = CS \\ T_a = \frac{D_{mes}}{C} \left[\left(\frac{2G}{S} - 1 \right) \left(\frac{2G}{S} (2a + K + 1) + 1 + a \right) \right] \\ a = \frac{d_{\max}C}{cD_{mes}} \\ K \leq \frac{C(T_m - t)}{D_{mes}} \end{array} \right. \quad (14)$$

Система (14) описывает поведение СВРС образованной КМД с АСМСД по протоколу CSMA/CA, в котором надежность передачи пакетов обеспечивается квитанциями об успешном приеме, передающимися по этому же каналу.

Моделирование процесса функционирования сети

Проведем моделирование функционирования сети исходя из следующих базовых исходных данных:

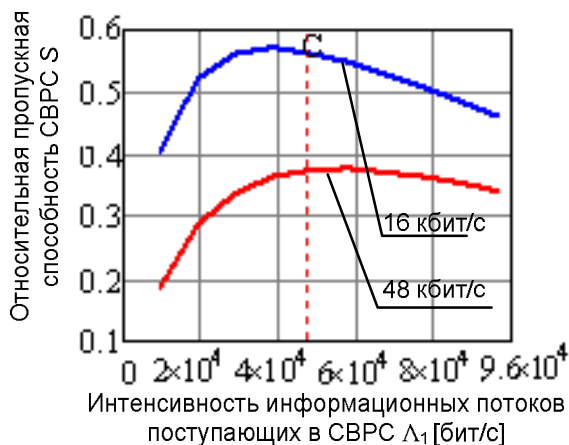
- скорость КМД: $C=48000$ бит/с;
- объем пакета: $D_{mes}=256$ бит;
- количество попыток повторной передачи $K=16$;
- максимальное время передачи $T_m=10$ с;
- расстояние между наиболее удаленными абонентами в сети $d_{\text{сot}}=250$ км;
- коэффициент внешнего трафика $k_{vn}=0,2$;

– коэффициент трафика квитанций об успешной доставке $k_{kv}=0,1$.

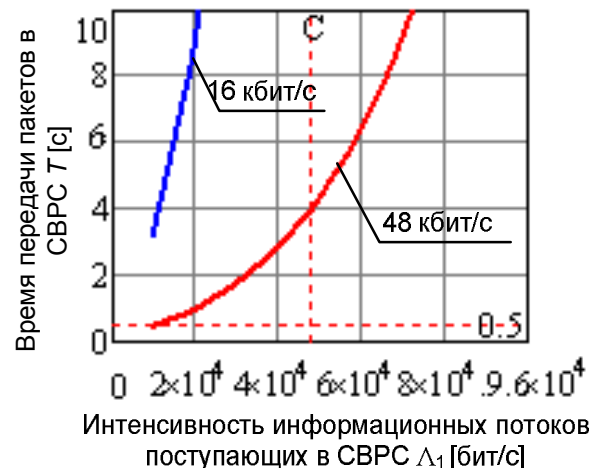
Скорость базового канала взята в 9600 бит/с, что соответствует упаковке речи кодеками стандартов:

- MELP (2400 бит/с, MOS – 3,5);
- G.723.1 /ACELP (5300 бит/с, MOS-3,7);
- TETRA/ACELP (4567бит/с, MOS – 3,4);
- AMR/ACELP (4750бит/с, MOS- 3.847).

Результаты моделирования представлены на рис. 5-10.

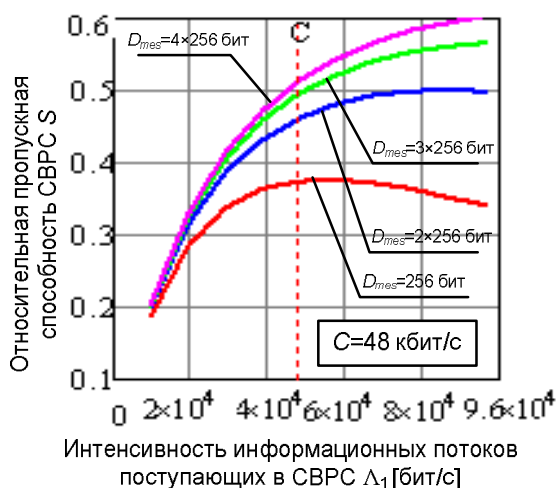


а.

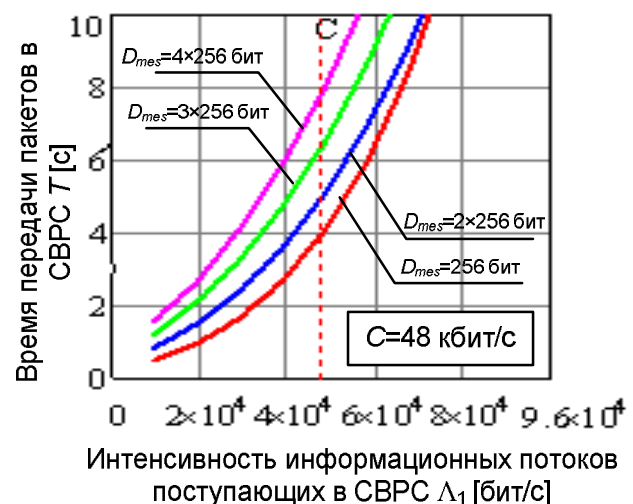


б.

Рис. 5. Моделирование относительной пропускной способности S (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от загрузки для КМД с различной пропускной способностью

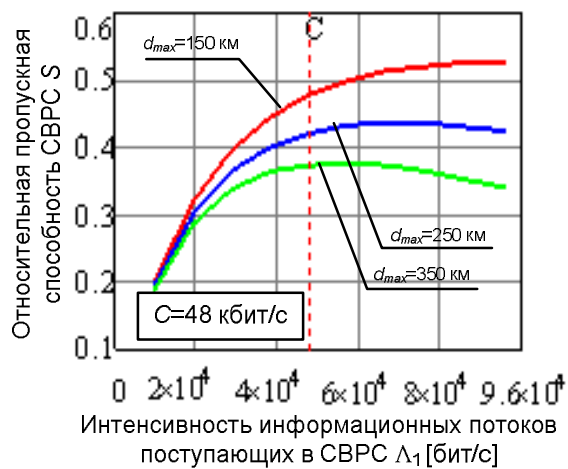


а.

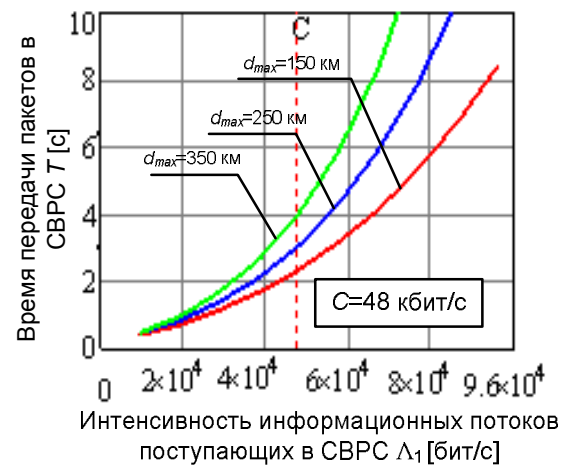


б.

Рис. 6. Моделирование относительной пропускной способности S (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от загрузки для различного объема передаваемых пакетов

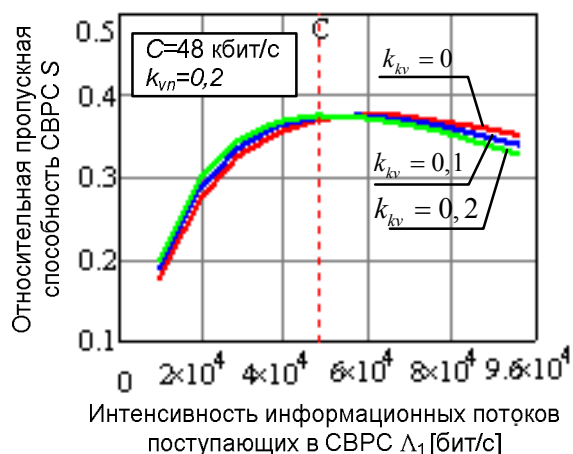


а.

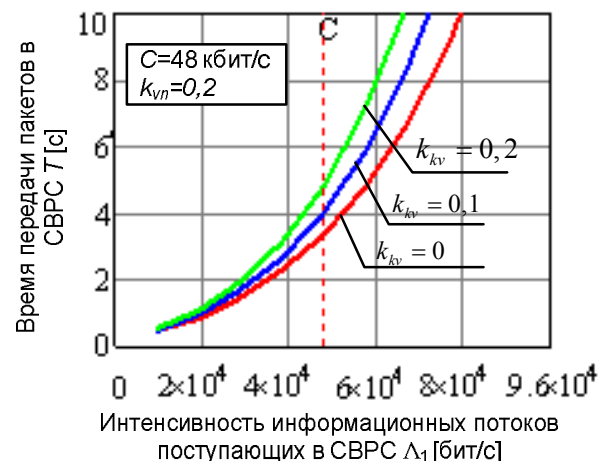


б.

Рис. 7. Моделирование относительной пропускной способности S (а) и времени задержки передачи (б) в зависимости от загрузки для СВРС различного радиуса

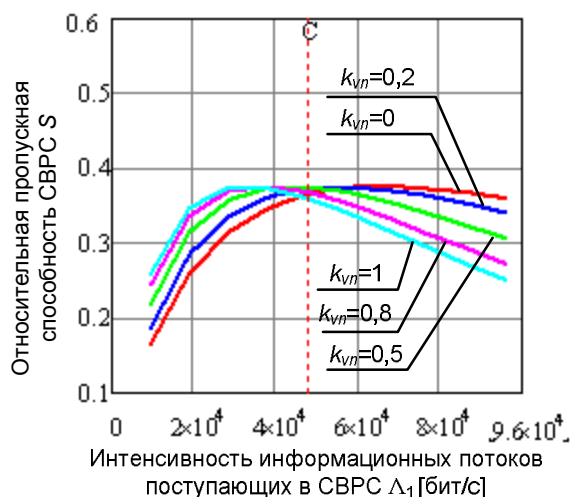


а.

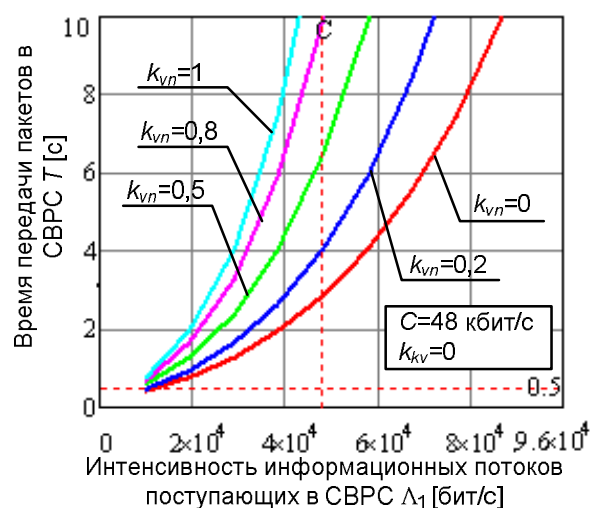


б.

Рис. 8. Моделирование относительной пропускной способности S (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от загрузки для различных значений коэффициента трафика квитанций

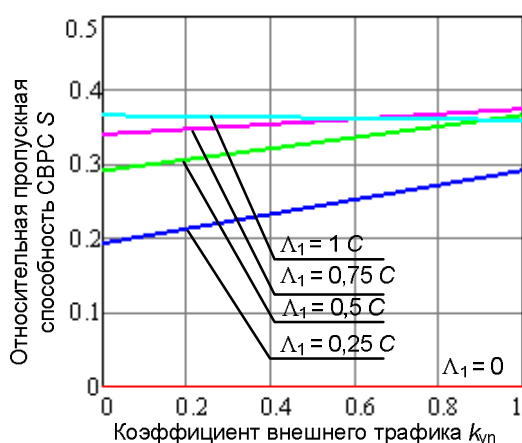


а.

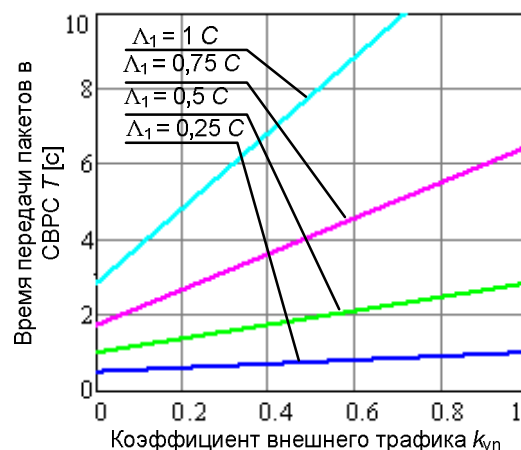


б.

Рис. 9. Моделирование относительной пропускной способности S (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от загрузки для различных значений коэффициента внешнего трафика



а.



б.

Рис. 10. Моделирование относительной пропускной способности S (а) и времени задержки передачи (б) в СВРС в зависимости от коэффициента внешнего трафика, при различных значениях нагрузки

Выводы

Проведенное моделирование показало, что транзитный трафик существенно влияет на сеть: при росте эффективной пропускной способности на 10-20%, время задержки сообщений возрастает в СВРС в 2-2,5 раза. Такой рост задержки передачи сообщений не позволяет передавать по СВРС трафик критичный к задержкам и как следствие актуализирует вопросы ретрансляции трафика через другие эшелоны связи.

Данные результаты в дальнейшем будут использованы для математического обеспечения маршрутизаторов абонентов воздушно-космических сетей связи, построенных с использованием Mesh-технологий. Так

же возможна реализация на основе протокола OpenFlow для программно-конфигурируемых сетей SDN.

Литература

1. Денисов Б. Б. Проблемы наращивания телекоммуникационного ресурса в интересах функционирования информационно-управляющих систем специального назначения [Доклад] // Мат. Всероссийской научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах специального назначения». Под ред. Ю.В. Бородакия. М.: АО «Концерн «Созвездие», 2012.

2. 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 «Созвездие», 2013. С. 7-9.

3. 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 «Созвездие», 2013. С. 16-20.

4. 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 «Созвездие», 2013. С. 38-41.

5. 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 03.02.2015).

6. 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 03.02.2015).

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

8. 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.

9. Макаренко С. И. Анализ воздействия преднамеренных помех на сетевой уровень модели взаимодействия открытых систем и функционирование протокола маршрутизации оценки состояния канала (OSPF) // Информационные технологии моделирования и управления. 2009. №7 (59). С. 956-961.

10. Макаренко С. И. Анализ воздействия преднамеренных помех на функционирование расширенного протокола маршрутизации внутреннего шлюза (EIGRP) // Информационные технологии моделирования и управления. 2010. №2 (61). С. 223-229.

11. Макаренко С. И. Исследование влияния преднамеренных помех на возможности по ретрансляции сообщения и показатели качества обслуживания канального уровня модели OSI для системы связи со случайным множественным доступом абонентов // Информационные технологии моделирования и управления, 2010, №6 (65). С. 807-815.

12. Антонович П. И., Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Ушанев К. В. Перспективные способы деструктивного воздействия на системы военного управления в едином информационном пространстве // Вестник Академии военных наук. 2014. № 3(48). С. 93-101.

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

14. Борисов В. И., Зинчук В. М., Лимарев А. Е. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты // под ред. В.И. Борисова; изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: РадиоСофт, 2008. – 512 с.

15. Авиация ПВО России и научно технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра: монография / под ред. Е.А. Федосова. – М.: Дрофа, 2005. – 815 с.

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

17. Научно-производственное предприятие «Полет». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. 2015. URL: <http://www.polyot.atnn.ru> (дата доступа 03.02.2015).

18. Назаров А. Н., Сычев К. И. Модели и методы расчёта показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. - Красноярск: изд. ООО "Поликом", 2010.— 389 с.

19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями. Пер с англ. – М.: Мир. 1979. – 600 с.
23. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.
24. Киткаев С. В. Концепция технической модернизации средств авиационной электросвязи России // Электросвязь. 2009. № 5. С. 29-33.
25. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Блакитный О. А. Проблема построения единой автоматизированной системы радиосвязи региона и пути ее решения // Сб. трудов X юбилейной научно-технической конференции «Проблемы радиосвязи». – Н. Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.
26. Дмитриев А. Н., Мотин О. В. Модель авиационного УКВ канала обмена данными // Тезисы докл. науч. техн. конференции. – Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.
27. Дмитриев А. Н., Максимов А. В. Оптимизация авиационных сетей обмена данными // Сборник трудов X НТК «Проблемы радиосвязи». Н.Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.
28. Мотин О. В. Модель функционирования авиационного УКВ канала обмена данными // XXIV военно-научная конференция молодых ученых. Щелково: 30 ЦНИИ МО РФ, 2001.
29. Войткевич К. Л. Методы управления трафиком в наземно-воздушных сетях связи. Дис. ... д.т.н. по спец. 05.13.01. Н.Новгород: НПП «Полет», 1998.. 375 с.
30. 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 им. Н.Е. Жуковского, 2007. – С. 118.
31. 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.

32. 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.

33. 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 им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003.

34. 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 им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003.

35. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Функциональная модель процесса управления авиации региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры №100. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003.

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

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

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

39. 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.

40. 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.

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

42. Гоцуцов С. Ю. Совершенствование автоматизированных систем управления воздушным движением на основе технологий коммутации пакетов. Дис. ... к.т.н. по спец. 05.22.13. М.: МИИГА, 2007, 211 с.

43. Калимулина Э.Ю. Разработка и исследование аналитических моделей надёжности и их применение для оптимизации территориально-распределённых сетей. Дис. ... к.т.н. по спец. 05.13.13. М.: МТУСИ, 2009. 222 с.
44. Морозов А. Н. Моделирование авиационных наземных фиксированных сетей передачи данных для организации воздушного движения в условиях дефицита исходных данных. Дис. ... к.ф.-м.н. по спец. 05.13.18. М.: МФТИ (ТУ), 211 с.
45. 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.
46. 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.
47. 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.
48. Шорин О. А. Методы оптимального распределения частотно-временного ресурса в системах подвижной радиосвязи. Дис. д. техн. наук по спец. 05.12.13. – М.: МТУСИ, 2005. – 351 с.
49. 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.
50. Семисошенко М. А. Управление автоматизированными сетями декаметровый связи в условиях сложной радиоэлектронной обстановки – СПб.: ВАС, 1997. 364 с.
51. Макаренко С. И. Подавление пакетных радиосетей со случайным множественным доступом за счет дестабилизации их состояния // Журнал радиоэлектроники. 2011. № 9. С. 2-2. - URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep11/4/text.pdf> (дата доступа 03.02.2015).
52. 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 03.02.2015).
53. Владимиров В. И. Информационные основы радиоподавления линий радиосвязи в динамике радиоэлектронного конфликта. Воронеж: ВИРЭ. 2003. – 276 с.
54. Бабусенко С. И., Исаев В. В. Статистическое моделирование многопролетных сетей пакетной радиосвязи. – Мат. 18 НТК Техника средств связи – Воронеж: НИИС, 1992.

55. Бабусенко С. И., Исаев В. В. Аналитическая модель маршрутизации в пакетной радиосети. – Мат. 18 НТК Техника средств связи – Воронеж: НИИС, 1992.

56. Макаренко С. И. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебное пособие. – Ставрополь: СФ МГГУ им. М. А. Шолохова, 2008. – 352 с.

References

1. Denisov B. B. Problemy narashchivaniia telekommunikatsionnogo resursa v interesakh funktsionirovaniia informatsionno-upravliaiushchikh sistem spetsial'nogo naznacheniiia [The Problems of Up Capacity Telecommunication Resource in the Interests of a Functioning 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 "Modern trends in the theory and practice of control systems for special purposes"]. Moscow, JSC "Concern "Sozvezdie", 2012 (in Russian).

2. 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 "Sozvezdie", 2013, pp. 7-9 (in Russian).

3. 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 "Sozvezdie", 2013, pp. 16-20 (in Russian).

4. 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 "Sozvezdie", 2013, pp. 38-41 (in Russian).

5. 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 2015) (In Russian).

6. 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 2015) (in Russian).

7. 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).

8. 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).

9. Makarenko S. I. Analiz vozdetsviia prednamerennykh pomekh na setevoi uroven' modeli vzaimodeistviia otkrytykh sistem i funktsionirovanie protokola marshrutizatsii otsenki sostoianiia kanala (OSPF) [Analysis of the Impact of Intentional Interference at the Network Level Model of Open Systems Interaction and Functioning of the Routing Protocol Assessment Channel (OSPF)]. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2009, vol. 59, no. 7, pp. 956-961 (in Russian).

10. Makarenko S. I. Analiz vozdetsviia prednamerennykh pomekh na funktsionirovanie rasshirennogo protokola marshrutizatsii vnutrennego shliuza (EIGRP) [Analysis of Affecting Intended Interferences on the Operation of the Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)]. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2010, vol. 61, no. 2, pp. 223-229 (in Russian).

11. Makarenko S. I. Issledovanie vliianiia prednamerennykh pomekh na vozmozhnosti po retransliatsii soobshcheniia i pokazateli kachestva obsluzhivaniia kanal'nogo urovnia modeli OSI dlia sistemy sviazi so sluchainym mnozhestvennym dostupom abonentov [The Study of the Influence of Intentional Interference at the Relay Capabilities of the Message and the Quality of Service Link Layer of the OSI Reference Model for Communication Systems with Random Multiple Access Subscribers] *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniia i upravleniia*, 2010, vol. 65, no. 6, pp. 807-815 (in Russian).

12. Antonovich P. I., Makarenko S. I., Mihaylov R. L., Ushanev K. V. New means of destructive effects on network centric military command, control and communication systems in the information space. *Vestnik Akademii voennykh nauk*, 2014, vol. 48, no. 3, pp. 93-101 (in Russian).

13. Makarenko S. I., Ivanov M. S., Popov S. A. *Pomekhozashchishchennost' sistem svyazi s psevdosluchainoi perestroikoi rabochei chastoty*. Monografiya [Interference Resistance Communication Systems with Frequency-Hopping Spread Spectrum. Treatise]. St-Petersburg, Svoe Izdatel'stvo Publ., 2013, 166 p. (in Russian).

14. Borisov V. I., Zinchuk V. M., Limarev A. E. *Pomekhozashchishchennost' sistem radiosvyazi s rasshireniem spektra signalov metodom psevdosluchainoi perestroiki rabochei chastoty* [Interference Resistance Radio Systems with Method of the Frequency-Hopping Spread Spectrum], second edition. Moscow, RadioSoft Publ., 2008, 512 p. (in Russian).

15. Fedosov E. A. *Aviatsiia PVO Rossii i nauchno tekhnicheskii progress: boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnia, zavtra*. Monografiya [Air Defence of Russia and Scientific Technical Progress: Combat Systems and Systems Yesterday, Today, Tomorrow. Treatise]. Moscow, Drofav Publ., 2005, 815 p. (in Russian).

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

17. Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie "Polet". Available at: <http://www.polyot.atnn.ru> (accessed 03 February 2015) (in Russian).

18. Nazarov A. N., Sychev K. I. *Modeli i metody rascheta pokazatelei kachestva funktsionirovaniia uzlovogo oborudovaniia i strukturno-setevykh parametrov setei svyazi sleduiushchego pokoleniia* [Models and methods of calculation of quality performance of the nodal equipment and structural network parameters of the networks to the next generation]. Krasnoyarsk, Polikom Publ., 2010, 389 p. (in Russian).

19. 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).

20. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Otsenka effektivnosti setei vozduшной radiosvyazi 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).

21. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Modeli setei radiosvazi, 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 ustroystv”, 2002 (in Russian).

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

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

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

25. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Blakitnyi O. A. Problema postroeniia edinoi avtomatizirovannoi sistemy radiosvazi 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 radiosvazi*” [Proceedings of the Conference “Problems of radio communication”]. Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie «Polet», 1999 (in Russian).

26. 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).

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

28. 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).

29. 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).

30. 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 8th All-Russian Scientific 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).

31. Makarenko S. I. Zadacha adaptivnogo upravleniia propusknoi sposobnost'iu kanalov seti vozdushnoi radiosvazi 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).

32. Makarenko S. I. Raschet parametrov algoritma adaptivnogo raspredeleniia propusknoi sposobnosti kanalov navedeniia v seti vozdushnoi radiosvazi. [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).

33. 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).

34. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Zadachi boevogo upravleniia edinoi sistemy vozdushnoi radiosvazi 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).

35. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Funktsional'naiia 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).

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

37. 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 vozduzhnoi radiosvazi 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).

39. 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).

40. 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).

41. 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).

42. 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).

43. 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).

44. Morozov A. N. *Modelirovanie aviatsionnykh nazemnykh fiksirovannykh setei peredachi dannykh dlia organizatsii vozdushnogo dvizheniia v usloviiakh 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).

45. 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).

46. 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).

47. 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).

48. 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).

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

50. Semisoshenko M. A. *Upravlenie avtomatizirovannymi setiami dekametrovoi sviazi v usloviiakh slozhnoi radioelektronnoi obstanovki* [The Management of the Automated Networks Decameter Communication in Complex Electronic Environment], St. Petersburg, Military Academy of Communications, 1997, 364 p. (in Russian).

51. 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 2015) (in Russian).

52. 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).

53. Vladimirov V. I. *Informatsionnye osnovy radiopodavleniia linii radiosviazi v dinamike radioelektronnogo konflikta* [Information basis of the countermeasure of radio communications in the dynamics of electronic conflict]. Voronezh, Voronezh Institute of Radioelectronics, 2003, 276 p. (in Russian).

54. Babusenko S. I., Isaev V. V. Statisticheskoe modelirovanie mnogoproletnykh setei paketnoi radiosviazi [Statistical modeling of multi-span of packet radio networks]. *Proceedings of the Scientific Conference "Technique of communication"*, Voronezh, Scientific Research Institute of Communications, 1992 (in Russian).

55. Babusenko S. I., Isaev V. V. Analiticheskaya model' marshrutizatsii v paketnoi radioseti [Analytical model of routing in packet radio networks], *18 Konferenciya "Tekhnika sredstv svyazi"* (Proceedings of the Scientific Conference «Technique of communication»), Voronezh, Scientific Research Institute of Communications, 1992 (in Russian).

56. Makarenko S. I. *Vychislitel'nye sistemy, seti i telekommunikatsii* [Computer systems, networks and telecommunication]. Stavropol, Sholokhov Moscow State University for the Humanities (Stavropol Branch) Publ., 2008, 352 p. (in Russian).

Статья поступила 20 марта 2015 г.

Информация об авторе

Аганесов Артур Валерьевич – соискатель ученой степени кандидата наук. Помощник начальника учебного отдела ВУНЦ ВВС «ВВА имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж). Область научных интересов: маршрутизация информационных потоков и ретрансляция сообщений в воздушно-космических сетях связи; Mesh-технологии. Тел.: +7 919 233 98 86. E-mail: aganesov.artur@yandex.ru

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

Model of Radio Network with CSMA/CA Protocol

Aganesov A. V.

Statement of the problem: in the united aerospace communication networks routing and relaying of messages required with a given quality of service traffic. **Purpose:** research and development of the network model radio communication with the data transmission by Protocol CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). In radio communication model-based non-persistent multiple access to investigate the effect of transit traffic on the effective network bandwidth and transmission time of messages in it. **Methods used:** model non-persistent multiple access in relay backhaul traffic in a network model radio communication. **Novelty:** model with considering transit connections in the load network. **The results** of the study - transit traffic will significantly affect the performance of the network. The increase in the number of transit connections makes the growth of the effective bandwidth of 10-20%, and the time delay of messages

in the network increases in 2-2,5 times. The increase in the transmission delay of messages not allows you to send network traffic to sensitive delay. It is recommended to relay traffic through the space echelon. **Practical relevance:** the author proposes to use paper results for relay backhaul traffic in a radio network on based Mesh-technology.

Keywords: communications network, relay traffic, routing, radio networks, CSMA.

Information about Author

Aganesov Artur Valer'evich - Doctoral Student. Assistant of head of training department. 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 and message relay in aerospace communication networks; Mesh-networks. Tel.: +7 919 233 98 86. E-mail: aganesov.artur@yandex.ru

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