УДК 004.72

Анализ качества обслуживания в воздушно-космической сети связи на основе иерархического и децентрализованного принципов ретрансляции информационных потоков

Аганесов А. В.

Постановка задачи. Создание объединенных воздушно-космических сетей актуализирует вопросы решения задач маршрутизации и ретрансляции сообщений в них. При этом необходимо обеспечить заданное качество обслуживания трафика. В более ранних работах автора рассмотрены два варианта структуры воздушно-космической сети. Первый – иерархических, когда все информационные потоки воздушных сетей ретранслируется через космическую сеть. Второй вариант предусматривает дополнительно объединение воздушных сетей по Mesh-технологии и децентрализованную ретрансляцию части трафика по смежным воздушным сетям. Целью работы является сравнительный анализ оценка качества обслуживания в этих вариантах структуры воздушно-космической сети по показателям пропускной способности. Используемые методы. В основу модели воздушно-космической сети положены ранее опубликованные работы автора в которых представлены модели иерархической и децентрализованной ретрансляции информационных потоков в воздушно-космической сети. При этом модель воздушной сети строится на основе модели протокола CSMA/CA, а модель спутниковой сети – на основе модели протокола S-Aloha. Новизна. Элементом новизны представленной работы является используемые оригинальные модели и впервые проведенные сравнительные оценки пропускной способности воздушно-космической сети при иерархической и децентрализованной ретрансляции информационных потоков. Практическая значимость: представленные оценки пропускной способности в дальнейшем предполагается использовать для обоснования принципов ретрансляции информационных потоков мультимедийных данных в глобальных воздушно-космических сетях. Планируется использовать результаты исследований для разработки 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 спутниковой связи, сеть воздушной радиосвязи, S-Aloha, 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 анализ современных технологических решений показал построению систем связи [1-3] в основу также воздушных сетей радиосвязи будут положены радиосети, реализованные на основе протоколов случайного множественного доступа и в перспективе объединяемые в информационное пространство за счет использованию Mesh-технологий [4-6]. Ретрансляция сообщений между отдельными сетями, потребует создания новых решений обеспечению Mesh-ретрансляции технологических ПО информационных потоков. Для обеспечения заданного качества обслуживания пользовательского трафика в объединенной сети связи требуется выработать

единые протоколы ретрансляции информационных потоков. Данная задача особенно актуальна для сетей воздушной радиосвязи (СВРС) в УКВ диапазоне, для которых предусматривается объединение через сети спутниковой связи (ССС). Такое объединение дополнительно обусловлено тем, что именно на СВРС, 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. С одной стороны это позволяет обеспечить глобальность управления авиацией, а с другой стороны – актуализирует вопросы ретрансляции информационных потоков в такой объединенной воздушно-космической сети (ВКСС). При этом отличительной особенностью ВКСС является то, что ее элементы, как показано в работах [7-12], доступны наземным и авиационным средствам радиоэлектронного подавления $(\Pi \in \mathbf{Q})$ существенно затрудняет ретрансляцию что информационных потоков, а также снижает эффективность протоколов маршрутизации в сети.

Анализ современных технических решений на основе работ [1-3] показал, что в основу воздушного эшелона будет 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 [1]. В настоящее время получила широкое TKC-2 (TKC-2M), СОД на базе однако применение эффективностью обладает система ОСНОД, которая в настоящее время планируется к использованию в перспективных СВРС.

Таблица 1 – Характеристики систем обмена данными [1]

No		ТКС-2	
	Характеристики	(TKC-2M)	оснод
1	Назначение	Типовой комплекс связи	Объединенная система связи,
		для обмена телекодовой	обмена данными, навигации и
		информацией	опознавания
2	Виды сетей обмена данных	СОД между самолетами,	Сеть обмена всеми видами
		между ПУ и самолетами	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	Есть	Есть
	автоматической		
	ретрансляции сообщений		
7	Диапазон частот	ДКМВ, МВ-ДМВ	ДМВ

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

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 [8].

ТТХ комплекса связи С-111, значимые для решения задач ретрансляции информационных потоков представлены в таблице 2 по данным работ [1, 3, 13]. Как показывает анализ данных таблицы 2, в состав комплекса авиационной связи включена станция спутниковой связи, которая позволит организовать построения сопряжение СОД через ССС. Концепцией специального назначения предполагается, что ССС будет использовать режим коммутации пакетов с их обработкой на борту [14, 15]. При этом спутникиретрансляторы (CP) будут использоваться для иерархического «роуминга» информационных потоков передающихся между различными воздушными и наземными полевыми радиосетями, имеющих различную войсковую и ведомственную принадлежность или не имеющих прямой электромагнитной доступности, но оснащенные средствами спутниковой связи «Багет-К», «Ливень», «Легенда» и др. со скоростями до 2,4 кбит/с (а при переходе к ЕССС-3 – до 2 Мбит/с) [3]. При этом в составе ССС для организации такого «роуминга» предполагается использовать каналы и частотные диапазоны отводимые под функционирование подвижных ССС, а организацию доступа абонентов воздушных и наземных полевых сетей к СР производить по протоколу случайного множественного доступа S-Aloha.

Таблица 2 – Некоторые TTX перспективного комплекса связи

$N_{\underline{0}}$	Характеристика	Значение
1	Скорости передачи данных, кбит/с:	
	- ДКМВ	до 2,4
	- МВ-ДМВ	до 16
	- ОСНОД (эффект.)	до 40 (100)
	- CMB	до 34 400
	- спутниковая линия связи ЕССС-2 (ЕССС-3) ДМВ-2	до 2,4 (до 2048)
2	Количество одновременно обслуживаемых сетей	до 38
4	Направлений связи:	
	- ДКМВ	1
	- МВ-ДМВ	2
	- ОСНОД (эффект.)	1
	- CMB	1
	- спутниковая линия связи ЕССС-2 (ЕССС-3) ДМВ-2	1
5	Дальность связи, км:	
	- в направлении «земля-борт» для ДКМВ	1500
	- в направлении «земля-борт» для МВ-ДМВ, ОСНОД	350
	- в направлении «борт-борт» для МВ-ДМВ, ОСНОД	500

Таблица 3 - Допустимые значения параметров качества обслуживания при передаче мультимедийного трафика [16, 17]

переда те мультимединного трафика [10, 17]					
Тип сервиса	Параметры качества обслуживания				
	Время	Вероятность	Задер-	Джит-	Вероят-
	установления	разрыва	жка, мс	тер, мс	ность поте-
	соединения, с	соединения			ри данных
IP-телефония	0,5-1	10 ⁻³	25-500	100-	10-3
				150	
Видеоконференция	0,5-1	10 ⁻³	30	30-100	10-3
Цифровое видео по	0,5-1	10 ⁻³	30	30-100	10-3
запросу					
Передача данных	0,5-1	10-6	50-1000	-	10-6
Телевизионное	0,5-1	10 ⁻⁸	1000	-	10-8
вещание					

Таблица 4 - Требования к качеству услуг, предоставляемых мультисервисными сетями связи [16, 17]

Tyyr yoyr		Требуемая Параметры качества услуги			
Тип дан- ных	Название услуги	скорость передачи	Задержка, мс	Джит- тер	Поте- ри, %
	Телефония	4-64 кбит/ с	<150 мс (отличное QoS); <400 мс (допустимое QoS)	<1 мс	<3%
Аудио	Передача голоса	4-32 кбит /с	<1 с (для воспроизведения); <2 с (для записи)	<1 мс	<3%
	Звуковое вещание	16-128 кбит/ с	<10 c	<<1 мс	<1%
Видео	Видео- конференция	>384 кбит/с	<150 мс (отличное QoS); <400 мс (допустимое QoS)		<1%
	Просмотр WEB- страниц	⊔ 10 кБ	<2 c/cтр. (отличное QoS); <4 c/cтр. (допустимое QoS)	-	0
	Передача файлов	10 кБ – 10 МБ	<15c (отличное QoS); <60 c (допустимое QoS)	-	0
Данные	Передача изображений	100 кБ	<15c (отличное QoS); <60 c (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

Информационный обмен внутри СВРС и ССС 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 накладываются 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 видео данных, поступающих от разведывательных средств на БПЛА режиме реального В времени, предъявляются обусловленные гораздо более жесткие требования, используемым кодеком информации (таблицы 3, 4) [16, 17].

Вышеуказанные факторы определяют актуальность разработки научнометодического обеспечения ретрансляции трафика CBPC через ССС в составе ВКСС.

Анализ вариантов технологических решений по сопряжению отдельных сетей воздушной радиосвязи через сеть спутниковой связи

В настоящее время СВРС могут быть сопряжены через ССС за счет использования средств спутниковой связи «Багет-К», «4РТ-С», «Кулон-В» (таблица 5) [3].

Станция «Кулон-В» является первой самолетной станцией с пропускной способностью до десяти помехозащищенных каналов. Выполняет функции малоканальной или микроузловой земной станции (3C) космической связи, работающей в оперативно-тактических сетях связи. Применяемые в станции антенные синфазные решетки позволяют существенно улучшить аэродинамику самолета по сравнению с использованием параболической антенны. Станция позволяет организовать круглосуточную непрерывную связь на всей территории Северного полушария Земли [3].

Станция «Багет-К» предназначена для обеспечения в режиме реального времени самолетов ВВС и ВМФ дальней помехозащищенной засекреченной телефонной и телекодовой радиосвязью с наземными и корабельными пунктами управления через СР на стационарных и эллиптических орбитах Единой системы спутниковой связи. Устанавливается на самолетах типа Ту-160 [3].

Станция «4РТ-С» обеспечивает прием и передачу телекодовой и телеграфной информации в через СР на высокой эллиптической орбите Единой системы спутниковой связи [3].

Таблица 5 - Некоторые TTX авиационных средств спутниковой связи [3]

	Кулон-В	Багет-К	4PT-C
Диапазон частот, ГГц	4/6	0,3/0,4	4/6
Дальность связи, км	до 17 000	до 17 000	до 17 000
Количество каналов связи:			
- телефонные	8×1,2 кбит/с	2×1,2 кбит/с	-
- телеграфные	6×0,25 кбит/с	2×0,25 кбит/с	-

Средство спутниковой связи «Кулон-В» в рамках ЕССС-2 способно организовывать каналы до 2,4-9,6 кбит/с, однако при переходе на ЕССС-3 планируется увеличить скорости мобильных авиационных абонентов до

2 Мбит/с. Это позволит организовать полноценную маршрутизацию информационных потоков отдельных СВРС через ССС.

используемые в СВРС И CCC настоящее время алгоритмы маршрутизации различны. С целью упрощения программно-аппаратных средств, в при построении интегрированной ВКСС целесообразно использовать одну универсальную схему выбора маршрута. В этом случае во всех сегментах сети будут рассчитываться одни и те же показатели, на базе которых и определяются оптимальные в выбранной метрике маршруты. Однако в настоящее время различные сегменты интегрированных сетей проектируются и производителями, изготавливаются различными придает маршрутизации в интегрированных ВКСС особую актуальность.

Таким образом, в целом схема сопряжения СВРС через ССС в рамках интегрированной ВКСС будет иметь вид представленный на рис. 1.

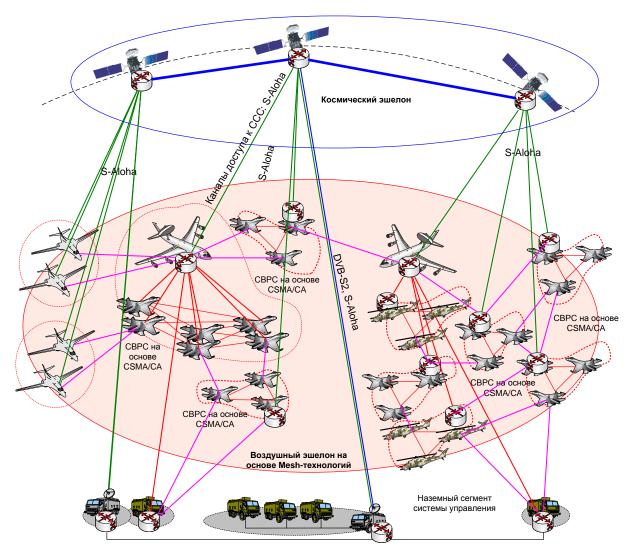


Рис. 1. Схема ВКСС на основе децентрализованного принципа ретрансляции информационных потоков

Как показано на рисунке, ССС предоставляет отдельным СВРС услуги глобальной транспортной сети, с помощью которой они сопрягаются между

собой, а также с наземной системой управления, кроме того отдельные СВРС могут объединяются между собой за счет использования Mesh-технологий. Подключение отдельных СВРС к ССС в рамках одного ствола СР ведется с помощью протокола случайного множественного доступа S-Aloha. Информационный обмен по межспутниковым радиолиниям, а также по каналам СР-шлюзовая станция ведется по стандарту DVB-S/S2.

В дальнейшем предлагается исследовать функционирование протоколов ретрансляции информационных потоков в ВКСС на основе централизованного (обмен CBPC между собой ведется через ССС) и децентрализованного принципа (обмен CBPC между собой ведется через ССС и через смежные СВРС объединенных на основе Mesh-технологий).

Постановка задачи анализ качества обслуживания в воздушно-космической сети связи на основе иерархического и децентрализованного принципов ретрансляции информационных потоков

Проведем анализ показателей качества ретрансляции информационных потоков в ВКСС по показателям:

- пропускная способность информационного направления связи;
- время задержки пакета в информационном направлении связи.

С учетом того, что ВКСС строится на основе:

- иерархического принципа информационного обмена (обмен CBPC между собой ведется через ССС);
- децентрализованного принципа информационного обмена (обмен CBPC между собой ведется через ССС и через смежные СВРС объединенных на основе Mesh-технологий).

Для формализации процесса информационного обмена в ВКСС введем следующие обозначения:

M – количество абонентов СВРС;

C — пропускная способность канала множественного доступа СВРС [бит/c];

 $C_{\rm CCC}$ — пропускная способность канала множественного доступа ССС [бит/c];

S — относительная пропускная способность канала множественного доступа СВРС, нормированная к C;

 $S_{\rm CCC}$ — относительная пропускная способность канала множественного доступа ССС нормированная к $C_{\rm CCC}$;

 $C_{\rm e}$ — эффективная пропускная способность канала множественного доступа CBPC [бит/с];

 $C_{\rm e\ CCC}$ — эффективная пропускная способность канала множественного доступа ССС [бит/с];

 $C_{\rm e~ UHC}$ — эффективная пропускная способность информационного направления связи (ИНС) [бит/с];

 D_{mes} — объем пакета в СВРС [бит];

 $D_{mes \ CCC}$ – объем пакета в ССС [бит];

 $D_{mes\ CCC}$ – объем пакета в ССС [бит];

 d_{max} – максимальный радиус сети СВРС [км];

- d_{sot} расстояние до спутника-ретранслятора (СР), образующего ССС [км]. Для низкоорбитальных ССС d_{sot} =500..1500 км, для геостационарных ССС d_{sot} =40000 км, для высокоэллиптических ССС d_{sot} >40000 км;
 - c скорость распространения электромагнитных волн [км/с];
- K настойчивость протокола множественного доступа СВРС, определяемая как число попыток передачи пакета, в случае, если предыдущие попытки оканчиваются неудачей;
- $K_{\rm CCC}$ настойчивость протокола множественного доступа S-Aloha, используемого в ССС;
- λ интенсивность трафика, поступающего от 1-го абонента в СВРС [бит/с];
- $k_{\rm BH}$ =0...1 коэффициент внешнего трафика CBPC, определяется как доля трафика CBPC передаваемого как через CCC, так и через смежные CBPC, объединенные по Mesh-технологии;
- $k_{\text{вн ССС}} = 0...1$ коэффициент, определяющий долю внешнего трафика из CBPC в другую CBPC, передаваемого только через ССС;
- $k_{\text{кв}}$ =0...1 коэффициент дополнительного трафика квитанций, определяется как доля от основного трафика содержания квитанции об успешном приеме пакета. Значение $k_{\text{кв}}$ =0,1 соответствует случаю, когда на 10 пакетов основного трафика отправляется 1 пакет квитанции об их успешном приеме;
 - *z* количество исходящих Mesh-каналов из CBPC в смежные CBPC;
- $k_{\text{св}}$ =0...1 среднесетевой коэффициент связности СВРС со смежными СВРС по Mesh-каналам;
- R среднесетевое количество ретрансляций через СВРС, объединенных на основе Mesh-технологий, при доставке пакета из СВРС-источника в СВРС-получатель;
- Λ интенсивность трафика в CBPC без учета трафика квитанций об успешной доставке и внешнего трафика, поступающего в CBPC [бит/с];
- Λ_{CCC} общая интенсивность трафика в ССС с учетом трафика квитанций об успешной доставке [бит/с]
- Λ_{CBPC} общая интенсивность трафика в CBPC с учетом внешнего трафика и трафика квитанций об успешной доставке [бит/с];

 $T_{\text{зад}}$ – задержка передачи пакета по n-ой CBPC [c];

 $T_{\text{зад CCC}}$ – задержка передачи пакета по ССС [c];

 $T_{\text{зад ИНС}}$ – задержка передачи пакета по ИНС [c].

Рамки исследования:

- протокол связи в CBPC CSMA/CA;
- протокол связи в ССС S-Aloha; при централизованном принципе ретрансляции все СВРС соединены через ССС по принципу «звезды», причем каждая СВРС доступна из другой сети за один шаг ретрансляции через ССС;
- при централизованном принципе ретрансляции все CBPC соединены через ССС по принципу «звезды», причем каждая СВРС доступна из

- другой сети за один шаг ретрансляции через ССС, дополнительно все СВРС соединены между собой в соответствии с количеством исходящих Mesh-каналов;
- трафик представляет собой простейший пуассоновский поток событий, состоящих в поступлении отдельных пакетов.

Целью разработки модели является оценка временных параметров задержки передачи сообщений и пропускной способности ИНС в ВКСС, использующей децентрализованный принцип ретрансляции информационных потоков на основе Mesh-технологии.

Модель воздушно-космической сети связи с иерархическим принципом ретрансляции информационных потоков

Рассмотрим ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена (рис. 2). В данной сети все межсетевые ИНС «СВРС-СВРС» идут через ССС. В предыдущих работах автора получены аналитические соотношения для упрошенного моделирования такой сети, схема вывода которой представлена на рис. 3. При этом основными допущениями модели являются:

- информационный трафик, циркулирующий во всех CBPC имеет равную интенсивность Λ_1 ;
- все СВРС имеют одинаковые параметры объема пакета, радиуса сети, настойчивости протокола CSMA/CA равные соответственно D_{mes} , d_{max} , K;
- коэффициент внешнего трафика у всех СВРС одинаков и равен k_{6H} , причем внешний трафик равномерно распределен по СВРС и коэффициенты трафика по всем межсетевым направлениям СВРС_i—СВРС_J имеют равные значения: k_{6H} i,j= k_{6H} /(N-1).

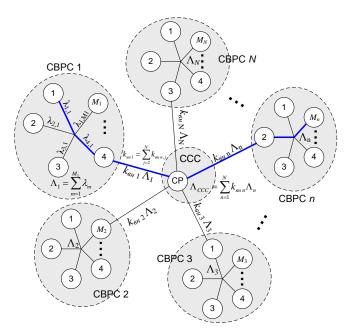


Рис. 2. Общая схема распределения интенсивностей информационного трафика циркулирующего в ВКСС без учета квитирования

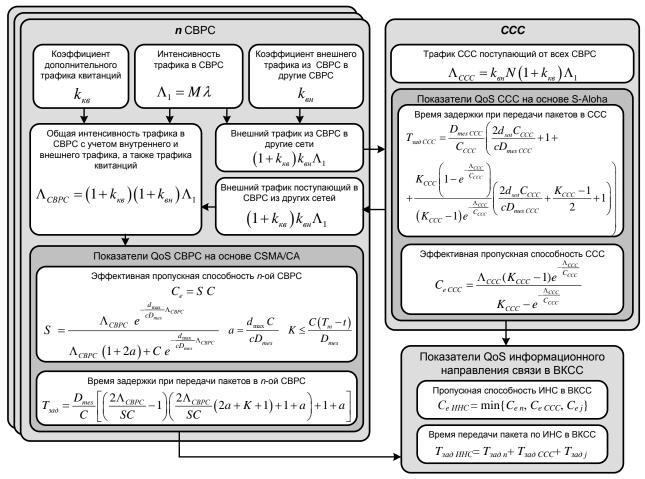


Рис. 3. Упрошенная схема аналитических вычислений для модели ВКСС с централизованным принципом информационного обмена

В соответствии со схемой информационного обмена (рис. 2) и схемой аналитических вычислений для модели ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена (рис. 3) выражения для интенсивности трафика примут вид:

- интенсивность трафика циркулирующего в произвольной СВРС:

$$\Lambda_{CBPC} = (1 + k_{\kappa B})(1 + k_{BH})\Lambda_1, \tag{1}$$

- интенсивность трафика в ССС:

$$\Lambda_{CCC} = k_{_{GH}} N \left(1 + k_{_{KG}} \right) \Lambda_1. \tag{2}$$

Общий вид ИНС в иерархической ВКСС представлен на рис. 4.

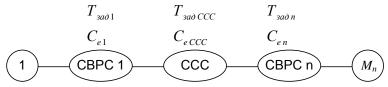


Рис. 4. Общая схема ИНС в ВКСС

с иерархическим принципом информационного обмена

В ИНС, представленной на рис. 4, время задержки передачи пакета между абонентами n-ой и j-ой СВРС будет являться суммой задержек пакета на всех звеньях ИНС:

$$T_{3a\partial \ HHC} = 2T_{3a\partial} + T_{3a\partial \ CCC}. \tag{3}$$

При этом время задержки пакета при передачи по всем отдельным звеньям с учетом выражений (1) и (2) будет определятся как:

1) для СВРС на основе протокола CSMA/CA:

$$T_{3a\delta} = \frac{D_{mes}}{C} \left[\left(\frac{2\Lambda_{CBPC}}{SC} - 1 \right) \left(\frac{2\Lambda_{CBPC}}{SC} \left(2a + K + 1 \right) + 1 + a \right) + 1 + a \right], \tag{4}$$

ГДе:
$$S = \frac{\Lambda_{CBPC}}{\Lambda_{CBPC}} e^{\frac{-d_{\max}}{cD_{mes}}\Lambda_{CBPC}}$$
, $a = \frac{d_{\max}C}{cD_{mes}}$, $K \le \frac{C(T_m - t)}{D_{mes}}$.

2) для ССС на основе протокола S-Aloha:

$$T_{3ao\,CCC} = \frac{D_{mes\,CCC}}{C_{CCC}} \left(\frac{2d_{sot}C_{CCC}}{cD_{mes\,CCC}} + 1 + \frac{K_{CCC} \left(1 - e^{-\frac{\Lambda_{CCC}}{C_{CCC}}} \right)}{\left(K_{CCC} - 1 \right) e^{-\frac{\Lambda_{CCC}}{C_{CCC}}}} \left(\frac{2d_{sot}C_{CCC}}{cD_{mes\,CCC}} + \frac{K_{CCC} - 1}{2} + 1 \right) \right). \tag{5}$$

Пропускная способность ИНС в такой ВКСС будет определяться минимальной эффективной пропускной способностью отдельного звена ИНС:

$$C_{e \ UHC} = \min\{C_e, C_{e \ CCC}\},\tag{6}$$

при этом эффективные пропускные способности для отдельных звеньев с учетом выражений (1) и (2) будут определяться как:

1) для СВРС на основе протокола СЅМА/СА:

$$C_e = S C , (7)$$

где показатели S, C определяются также как и в выражении (4) для времени задержки передачи пакета.

2) для ССС на основе протокола S-Aloha:

$$C_{eCCC} = \frac{\Lambda_{CCC}(K_{CCC} - 1)e^{-\frac{\Lambda_{CCC}}{C_{CCC}}}}{K_{CCC} + e^{-\frac{\Lambda_{CCC}}{C_{CCC}}}}.$$
(8)

Показатели $T_{3a\partial\ UHC}$ (3) и $C_{e\ UHC}$ (6) формируют показатели качества обслуживания ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена.

Модель воздушно-космической сети связи с децентрализованным принципом ретрансляции информационных потоков

Рассмотрим ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена (рис. 5). В данной сети межсетевые ИНС «СВРС-СВРС» могут проходить как через ССС, так и через смежные СВРС объединяемые на основе Mesh-технологий. В предыдущих работах автора получены аналитические соотношения для упрошенного моделирования такой сети. Упрошенная схема вывода основных расчетных соотношений для такой сети представлена на рис. 6. При этом к уже указанным допущениям в данной модели введено

следующее - количество исходящих внешних Mesh-каналов связи из СВРС одинаково и равно z, соответственно связность всех СВРС также одинакова и равна k_{cs} .

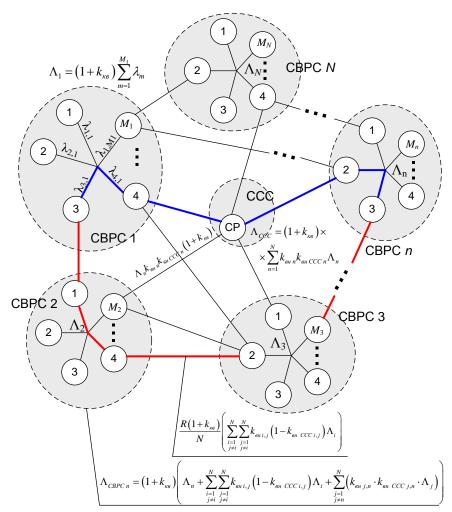


Рис. 5. ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена на основе Mesh-технологий

В соответствии со схемой информационного обмена (рис. 5) и схемой аналитических вычислений для модели ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена (рис. 6) выражения для интенсивности трафика примут вид:

- интенсивность трафика циркулирующего в произвольной СВРС:

$$\Lambda_{CBPC} = \Lambda_1 (1 + k_{\kappa g}) \left(1 + R k_{\kappa H} \left(1 - k_{\kappa H CCC} \right) + k_{\kappa H} \cdot k_{\kappa H CCC} \right), \tag{9}$$

- интенсивность трафика в ССС:

$$\Lambda_{CCC} = N(1 + k_{_{KB}})k_{_{GH}} \cdot k_{_{GH}CCC} \cdot \Lambda_{_{1}}. \tag{10}$$

Общий вид ИНС в децентрализованной ВКСС представлен на рис. 7.

Systems of Control, Communication and Security

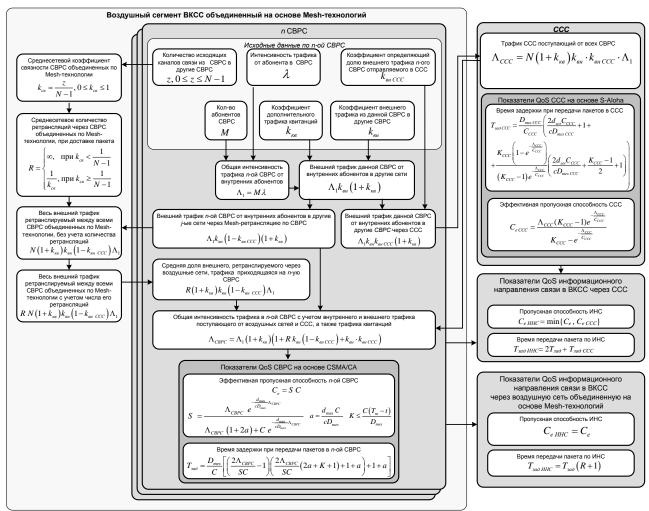


Рис. 6. Упрощенная схема аналитических вычислений для модели ВКСС с децентрализованным принципом ретрансляции информационных потов на основе Mesh-технологий

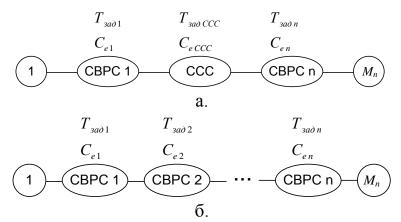


Рис. 7. Общие схемы ИНС в ВКСС: a) через ССС; б) ретрансляция через СВРС, соединенных по Mesh-технологии

В ИНС, представленной на рис. 7, время задержки передачи пакета между абонентами разных СВРС будет являться суммой задержек пакета на всех звеньях ИНС:

- при передаче через ССС:

$$T_{3a\partial \ UHC} = 2T_{3a\partial} + T_{3a\partial \ CCC}; \tag{11}$$

- при передаче через CBPC соединенные по Mesh-технологии:

$$T_{\text{aad }IHC} = T_{\text{aad}}(R+1). \tag{12}$$

При этом время задержки пакета при передаче по отдельным звеньям ИНС будут определятся по выражениям (4) и (5) с учетом выражений для интенсивности трафика Λ_{CBPC} (9) и Λ_{CCC} (10).

Пропускная способность ИНС в такой ВКСС будет определяться минимальной эффективной пропускной способностью отдельного звена ИНС:

- при передаче через ССС:

$$C_{e \ \text{WHC}} = \min\{C_e, C_{e \ \text{CCC}}\}; \tag{13}$$

- при передаче через CBPC соединенные по Mesh-технологии:

$$C_{e \, HHC} = C_e \,. \tag{14}$$

При этом пропускные способности отдельных звеньев C_e и $C_{e\ CCC}$ в ИНС будут определятся по выражениям (7) и (8) с учетом выражений для интенсивности трафика Λ_{CBPC} (9) и Λ_{CCC} (10).

Анализ качества обслуживания

в воздушно-космической сети связи на основе иерархического принципа ретрансляции информационных потоков

Проведем оценку пропускной способности и времени задержки передачи в ИНС для ВКСС с иерархическим принципом ретрансляции информационных потоков при ограничениях, которые соответствуют техническим характеристикам современных средств связи [1, 7, 8]:

- базовая интенсивность информационного потока в CBPC составляет λ=1,2 кбит/с;
- количество абонентов СВРС M=1...20, при этом каждый из абонентов генерирует трафик λ ;
- пропускная способность каналов множественного доступа для CBPC равна C=48 кбит/с, для CCC 13,3 кбит/с;
- объемы пакетов в СВРС (D_{mes}) и ССС ($D_{mes\ CCC}$) имеют равные значения 256 бит;
- коэффициенты настойчивости протокола множественного доступа в СВРС и ССС равны и имеют значения $K=K_{\text{ССС}}=16$;
- радиус СВРС равен d_{\max} =250 км.

Результаты моделирования представлены на рис. 8-11.

Как показали результаты моделирования, ввиду того, что пропускная способность спутникового сегмента ВКСС существенно ниже пропускной способности СВРС (рис. 8), то общая пропускная способность ИНС в ВКСС определяется пропускной способностью именно ССС сегмента (рис. 10). Такой же вывод можно сделать и о времени задержки передачи сообщений в ИНС (рис. 9, рис. 11) — именно спутниковый сегмент ВКСС определяет задержку передачи по ИНС.

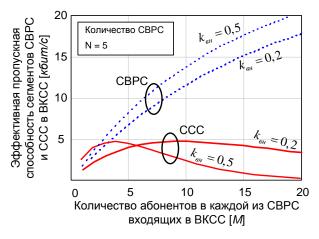


Рис. 8. Пропускная способность спутникового и воздушного сегментов ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена

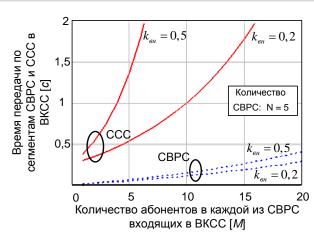
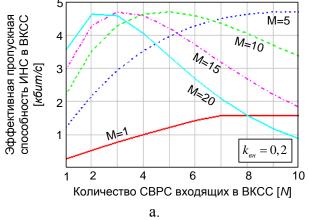


Рис. 9. Время передачи по спутниковому и воздушному сегментам ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена



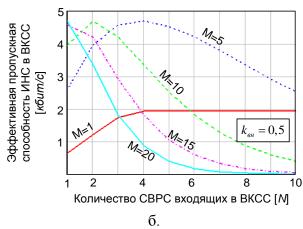
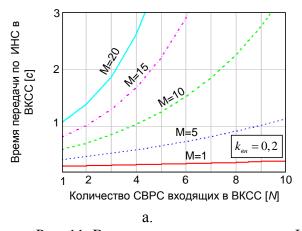


Рис. 10. Пропускная способность ИНС в ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена при различных значениях $k_{\rm gH}$



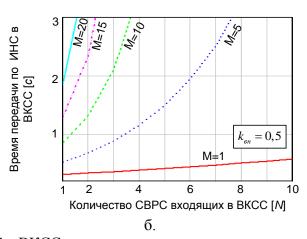


Рис. 11. Время задержки передачи по ИНС в ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена при различных значениях $k_{\rm вн}$

Наиболее существенным фактором определяющим QoS ИНС в ВКСС является коэффициент внешнего трафика $k_{\rm gr}$ (рис. 10). По мере роста доли трафика ретранслируемого в другие СРВС нагрузка на ССС увеличивается. С учетом того, что именно ССС является звеном в ИНС с наименьшей

пропускной способностью, это приводит к резкому увеличению времени передачи сообщений по ИНС в ВКСС (рис. 11). В результате значения ВКСС не позволяет обслужить мультимедийный трафик (речь, видео, изображения, передаваемые в реальном времени), так как требуемое время задержки, при его передачи не должно превышать 0,5-0,6 с.

Фактически предельные возможности по структуре ВКСС для передачи трафика реального времени (T_m <0,6 с) – 4 СВРС в каждой не более 5 абонентов по 1,2 кбит/с, при коэффициенте внешнего трафика k_{sn} <0,2.

Рассмотрим возможности ВКСС по обслуживанию мультимедийного трафика (речь, видео, изображения, передаваемые в реальном времени) с учетом переспектив развития авиационных систем связи и планируемого увеличения пропускных способностей канала ССС до 2 Мбит/с, а СВРС – до 34 Мбит/с. С учетом того, что минимальный требуемый канал для передачи мультимедийного трафика составит 16 кбит/с.

Проведем моделирование возможностей перспективной ВКСС при ограничениях, которые соответствуют техническим характеристикам перспективных средств связи:

- базовая интенсивность информационного потока в CBPC составляет λ =16 кбит/с;
- количество абонентов СВРС M=1...20, при этом каждый из абонентов генерирует трафик λ ;
- пропускная способность каналов множественного доступа для СВРС равна *C*=34 Мбит/с, для ССС 2 Мбит/с;
- объемы пакетов в СВРС (D_{mes}) и ССС ($D_{mes\ CCC}$) имеют равные значения 256 бит;
- коэффициенты настойчивости протокола множественного доступа в СВРС и ССС равны и имеют значения $K=K_{\rm CCC}=16$;
- радиус СВРС равен d_{max} =250 км.

Результаты моделирования представлены на рис. 12-15.

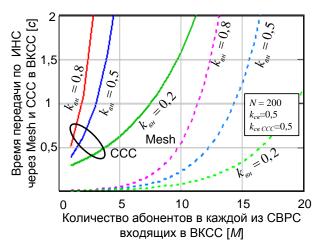


Рис. 12. Пропускная способность спутникового и воздушного сегментов ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена

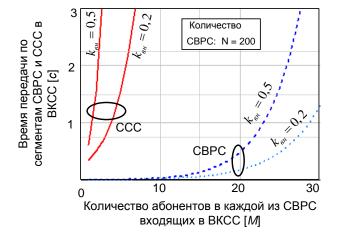


Рис. 13. Время передачи по спутниковому и воздушному сегментам ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена

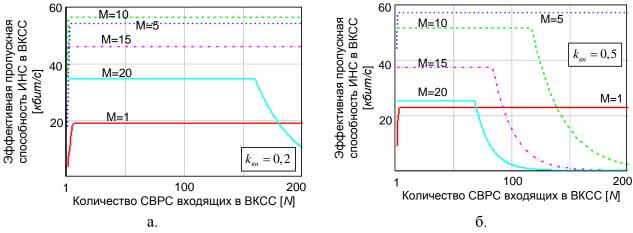


Рис. 14. Пропускная способность ИНС в ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена при различных значениях $k_{\rm gr}$

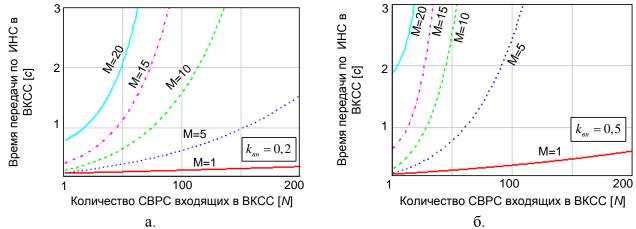


Рис. 15. Время задержки передачи по ИНС в ВКСС с иерархическим принципом информационного обмена при различных значениях $k_{\rm BH}$

Анализ графиков на рис. 12-15 показывают, что факторы более низкой пропускной способности ССС и зависимость QoS ИНС от коэффициента внешнего трафика $k_{\it вh}$ продолжают играть свою роль. Как видно на рис. 14 именно снижение пропускной способности ССС ведет к снижению пропускной способности ИНС после достижения критических значений соотношения абонентов M и числа СВРС N.

Анализ графиков на рис. 15 позволяет определить предельные возможности по структуре перспективной ВКСС для передачи трафика реального времени (T_m <0,6 c):

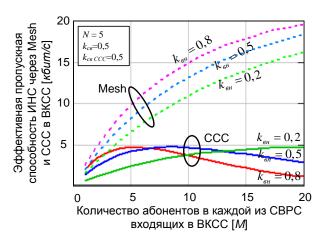
- при коэффициенте внешнего трафика до $k_{\scriptscriptstyle \it BH} \leq 0,2$:
 - а) до 100 СВРС в каждой не более 5 абонентов по 16 кбит/с;
 - б) до 50 СВРС в каждой не более 10 абонентов по 16 кбит/с;
 - в) до 30 СВРС в каждой не более 15 абонентов по 16 кбит/с;
- при коэффициенте внешнего трафика до $k_{\rm gH} \le 0.5$:
 - а) до 40 СВРС в каждой не более 5 абонентов по 16 кбит/с;
 - б) до 17 СВРС в каждой не более 10 абонентов по 16 кбит/с;
 - в) до 2 СВРС в каждой не более 15 абонентов по 16 кбит/с.

Сравнительный анализ качества обслуживания в воздушно-космической сети связи на основе иерархического и децентрализованного принципа ретрансляции информационных потоков

Проведем оценку пропускной способности и времени задержки передачи в ИНС для ВКСС с децентрализованным принципом ретрансляции информационных потоков. При ограничениях, которые соответствуют техническим характеристикам современных средств связи [1, 7, 8]:

- базовая интенсивность информационного потока в CBPC составляет λ=1,2 кбит/с;
- количество абонентов СВРС M=1...20, при этом каждый из абонентов генерирует трафик λ ;
- пропускная способность каналов множественного доступа для CBPC равна C=48 кбит/с, для CCC 13,3 кбит/с;
- объемы пакетов в СВРС (D_{mes}) и ССС ($D_{mes\ CCC}$) имеют равные значения 256 бит;
- коэффициенты настойчивости протокола множественного доступа в СВРС и ССС равны и имеют значения $K=K_{\text{CCC}}=16$;
- радиус СВРС равен d_{max} =250 км.

Результаты моделирования представлены на рис. 16-19.



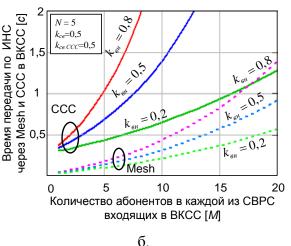


Рис. 16. Пропускная способность и время передачи по ИНС (через ССС и через Mesh) в ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена при различных значениях количества абонентов M

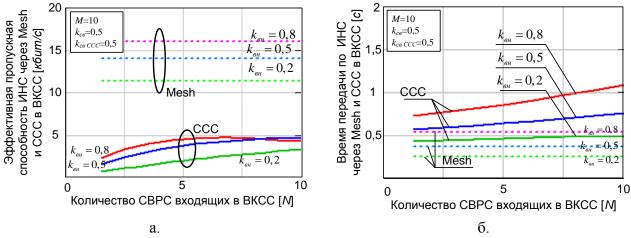


Рис. 17. Пропускная способность и время передачи по ИНС (через ССС и через Mesh) в ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена при различных значениях количества сетей N

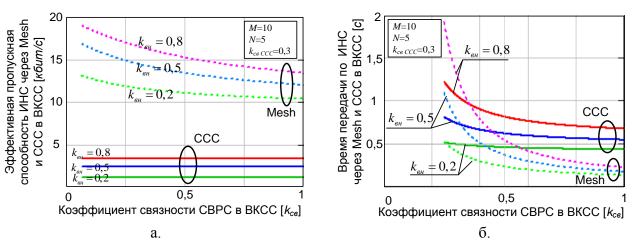


Рис. 18. Пропускная способность и время передачи по ИНС (через ССС и через Mesh) в ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена при изменении связности СВРС

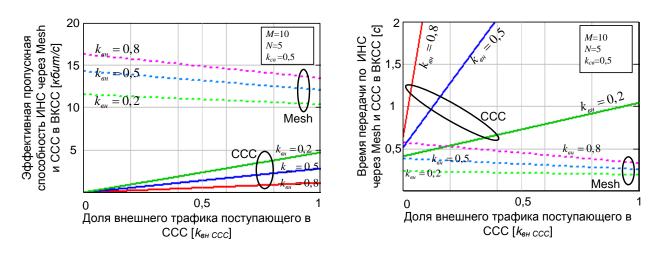


Рис. 19. Пропускная способность и время передачи по ИНС (через ССС и через Mesh) в ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена при изменении доли трафика в составе внешнего трафика поступающего в ССС

Анализ графических зависимостей на рис. 16-19 показывают, что в целом наиболее существенным фактором определяющим QoS ИНС в ВКСС коэффициент продолжает оставаться внешнего трафика $k_{\rm BH}$. Однако Mesh-технологии **CBPC** использование объединений позволяет **CBPC** трафика смежные ретранслировать часть (определяется коэффициентом $k_{\it вн}$ ссс), тем самым существенно разгрузить спутниковый сегмент ВКСС и как следствие снизить время передачи сообщений по ИНС. эффективность применения Mesh-технологий полностью определяется коэффициентом связности воздушных сетей k_{cs} . Таким образом, Mesh-технологии без изменения технических характеристик оборудования по пропускной способности не позволяют существенно изменить ситуацию с невозможность построения глобальных сетей ретрансляции трафика реального времени.

Предельные возможности по структуре ВКСС для передачи мультимедийного трафика (T_m <0,6 с), при коэффициенте связности воздушного сегмента $k_{cs} \ge 0,5$:

- до 10 CBPC в каждой не более 10 абонентов по 1,2 кбит/с:
 - а) при коэффициентах внешнего трафика $k_{\it вн} \le 0.5$, $k_{\it вн} \ \it CCC = 0$;
 - б) при коэффициентах внешнего трафика $k_{\it вн} \le 0.2$, $k_{\it вн} \ \it CCC} \le 0.05$;
- до 5 CBPC в каждой не более 12 абонентов по 1,2 кбит/с:
 - а) при коэффициентах внешнего трафика $k_{e_H} \le 0.5$, $k_{e_H} CCC = 0$;
 - б) при коэффициентах внешнего трафика $k_{\it вн} \le 0.2$, $k_{\it вн} \ \it CCC \le 0.05$.

Таким образом, с одной стороны использование Mesh-технологии позволяет увеличить емкость ВКСС и ее возможности по обслуживанию трафика реального времени, а с другой стороны, возникает множество вариантов балансировки трафика между воздушным и спутниковым сегментами ССС, что требует разработки отдельной методики балансировки нагрузки.

Рассмотрим возможности ВКСС по обслуживанию мультимедийного трафика с учетом планируемого увеличения пропускных способностей канала ССС до 2 Мбит/с, а СВРС – до 34 Мбит/с. С учетом того, что минимальный требуемый канал для передачи мультимедийного трафика составит 16 кбит/с.

Проведем моделирование возможностей перспективной ВКСС при ограничениях, которые соответствуют техническим характеристикам перспективных средств связи:

- базовая интенсивность информационного потока в CBPC составляет $\lambda = 16 \ \text{кбит/c}$:
- количество абонентов СВРС M=1...20, при этом каждый из абонентов генерирует трафик λ ;
- пропускная способность каналов множественного доступа для СВРС равна *C*=34 Мбит/с, для ССС 2 Мбит/с;
- объемы пакетов в СВРС (D_{mes}) и ССС ($D_{mes\ CCC}$) имеют равные значения 256 бит;
- коэффициенты настойчивости протокола множественного доступа в СВРС и ССС равны и имеют значения $K=K_{\text{CCC}}=16$;

- радиус СВРС равен d_{max} =250 км. Результаты моделирования представлены на рис. 20-23.

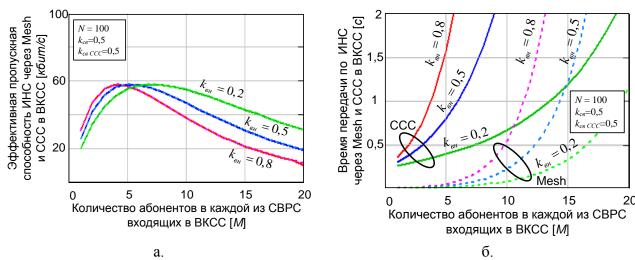


Рис. 20. Пропускная способность и время передачи по ИНС (через ССС и через Mesh) в ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена при различных значениях количества абонентов M

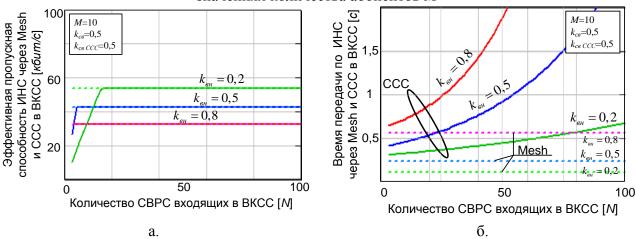


Рис. 21. Пропускная способность и время передачи по ИНС (через ССС и через Mesh) в ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена при различных значениях количества сетей N

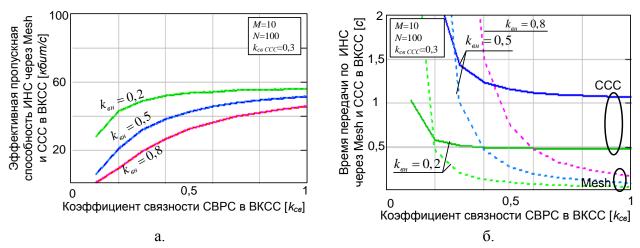


Рис. 22. Пропускная способность и время передачи по ИНС (через ССС и через Mesh) в ВКСС с децентрализованным принципом передачи при изменении связности СВРС

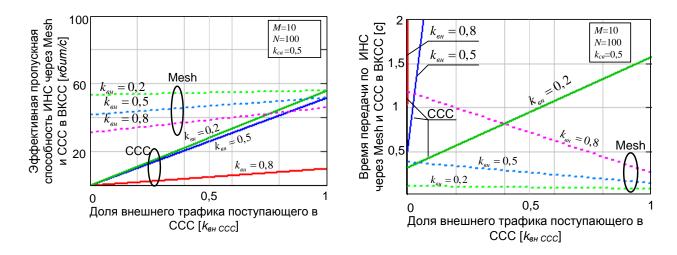


Рис. 23. Пропускная способность и время передачи по ИНС (через ССС и через Mesh) в ВКСС с децентрализованным принципом информационного обмена при изменении доли трафика в составе внешнего трафика поступающего в ССС

Анализ графиков на рис. 20-23 показывает, что в ВКСС построенном на основе децентрализованного принципа информационного обмена в зависимости от коэффициентов $k_{\it gh}$ и $k_{\it gh}$ сссс звеном с наиболее низкой пропускной способностью может выступать как ССС так и воздушный сегмент ВКСС (рис. 21a). При этом соотношение коэффициентов $k_{\it gh}$ и $k_{\it gh}$ ссс фактически определяют поведение всей системы.

Графические зависимости на рис. 20-23 позволяет определить предельные возможности по структуре перспективной ВКСС для передачи трафика реального времени (T_m <0,6 с):

- при коэффициенте внешнего трафика до $k_{\it вн} \le 0.2$ ($k_{\it вн} \it CCC \le 0.15$, $k_{\it ce} = 0.5$):
 - а) до 100 СВРС в каждой не более 10 абонентов по 16 кбит/с;
 - б) до 70 СВРС в каждой не более 10 абонентов по 16 кбит/с;
- при коэффициенте внешнего трафика до $k_{\it en} \le 0.6$ ($k_{\it en} \ \it CCC} = 0.5$):
 - а) до 200 СВРС в каждой не более 10 абонентов по 16 кбит/с.

Представим итоговые данные о повышении пропускной способности по показателю общего количества обслуживаемых абонентов за счет использования Mesh-технологий в ВКСС в виде таблицы 6.

Анализ результатов представленных в таблице позволяет сделать вывод о том, что использование Mesh-технологий для объединения CBPC в воздушном сегменте, позволяет ретранслировать большую часть трафика ВКСС через смежные CBPC и тем самым повысить пропускную способности ВКСС по показателю одновременного числа обслуживаемых абонентов в 2...4 раза, для современного авиационного оборудования связи и до 9 раз — для перспективного.

Таблица 6. Повышение пропускной способности

Параметры		ВКСС	ВКСС	Прирост пропускной		
информационных		(CCC)	(CCC+Mesh, k_{ce} =0,5)	способности (в аб.)		
потоков						
Современное оборудование авиационной связи						
λ=1,2	$k_{e_{H}} \leq 0,2$	4×5 аб.	10×10 аб.	до 400%		
кбит/с			5×12 аб.	до 200%		
	$k_{e_{H}} \leq 0,5$	-	10×10 аб.	∞		
		-	5×12 аб.	∞		
Перспективное оборудование авиационной связи						
λ=16	$k_{\scriptscriptstyle{\mathit{BH}}} \leq 0,2$	100×5 аб.	200×10 аб.	до 300%		
кбит/с		50×10 аб.				
	$k_{\rm BH} \leq 0.5$	40×5 аб.	200×10 аб.	до 900%		
		17×10 аб.				

Выводы

Таким образом, использование Mesh технологии позволяет в разы повысить пропускную способность ВКСС по количеству одновременно обслуживаемых абонентов, передающих мультимедийный трафик. Однако, такое повышение реализуется за счет использования избыточного ресурса пропускной способности СВРС и фактически ведет к ретрансляции подавляющей части трафика ВКСС через воздушный сегмент. При этом, доли ретранслируемого трафика определяется параметрами $k_{\it gh}$ и $k_{\it gh}$ сссс, а время задержки еще и зависит от коэффициента связности $k_{\it ch}$ который напрямую определяет количество шагов ретрансляции.

Представленная схема построения ВКСС в интересах информационного обеспечения авиации является развитием работ [14, 15, 18-23] по созданию многоуровневых и гибридных систем связи передачи мультимедийного трафика на основе ССС. Предложения по использованию Mesh технологии в интересах повышения пропускной способности ВКСС развивают актуальное направление исследований представленное в работах [5-6, 24-32] и посвященные увеличению пропускной способности сетей авиационной связи за счет использования современных информационных технологий.

Ввиду того, что прирост пропускной способности ВКСС обеспечивается при различных соотношениях трафика направляемого в воздушный и космический сегменты дальнейшие исследовании целесообразно направить на разработку методики балансировки информационных потоков в ВКСС, по аналогии с работой [33]. Целью этой методики должно стать обоснование рационального значения параметра $k_{\it вн}$ ССС при заданных параметрах ВКСС $k_{\it вн}$, $k_{\it cв}$ M, N, с целью максимизировать пропускную способность ВКСС. Решение этой задачи, планируется в последующих работах автора.

Литература

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

- 2. Связь Вооруженных силах Российской Федерации – В сборник. / Под ред. Абрамовича А.В., Герасимова А.В., тематический Ометова К.С., 000Быстрова Ю.А. M.: «Компания Цибина С.В., «Информационный мост», 2013. 216 с. URL: www.informost.ru (дата доступа 01.08.2015).
- 3. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Системы управления, связи и радиоэлектронной борьбы / Под общ. ред. Иванова С. М.: Изд. дом «Оружие и технологии», 2006. 695 с.
- 4. Легков К. Е. Методы повышения производительности беспроводных mesh-сетей специального назначения // T-Comm. 2011. № 3. С. 46-48.
- 5. Кулаков М. С. Анализ особенностей функционирования мобильных самоорганизующихся сетей MANET на уровне доступа к среде MAC // Т-Comm. 2014. № 10. С. 39-42.
- 6. Кулаков М. С. Применение алгоритмов самоорганизации для режима VDL-2 // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2012. Т. 5. № 5. С. 58-62.
- 7. 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.
- 8. Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. СПб.: Свое издательство, 2013. 166 с.
- 9. Макаренко С. И., Рюмшин К. Ю., Михайлов Р. Л. Модель функционирования объекта сети связи в условиях ограниченной надежности каналов связи // Информационные системы и технологии. 2014. № 6 (86). С. 139-147.
- 10. 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 03.08.2015).
- 11. 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).
- 12. Макаренко С. И., Михайлов Р. Л., Новиков Е. А. Исследование канальных и сетевых параметров канала связи в условиях динамически изменяющейся сигнально–помеховой обстановки // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 10. URL: http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf (дата доступа 03.08.2015).
- 13. Научно-производственное предприятие «Полет». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. 2015. URL: http://www.polyot.atnn.ru (дата доступа 03.08.2015).
- 14. Телегин Г. А., Моисеев Н. И., Демидов А. С., Рязанцев О. Д., Алыбин В. Г. Спутниковые интегрированные телекоммуникационные сети на

- технологии ATM // 11 Международная конференция «Микроволновые и телекоммуникационные технологии» (CriMiCo'2001). 10-14 сентября. Севастополь, 2001.
- 15. Кузенков А. В. Состояние и перспективы развития отечественных ретрансляторов // Аэрокосмический курьер. 2013. № 2. С. 42-45.
- 16. 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.
- 17. 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.
- 18. Пастухов А. С., Перегняк А. Е., Лукьянцев С. А., Симонян А. Г. Оценка взаимного влияния самоподобных Internet- и видеотрафика при передаче по гибридным сетям спутниковой связи // Электротехнические и информационные процессы. 2009. Т. 5. № 1. С. 58-61.
- 19. Пастухов А. С., Разумов Я. М., Окулов К. Ю., Гуреев А. К. Моделирование совместной передачи видео- и Internet-трафика в стандарте DVB/IP/MPEG-2 в гибридных спутниковых сетях связи // Электротехнические и информационные процессы. 2007. Т. 3. № 2. С. 56-60.
- 20. Мальцев Г. Н., Цветков К. Ю., Родионов А.В., Акмолов А. Ф., Ефимов С. Н., Косаревич Д. В., Викторов Е. А. Концепция построения разновысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2011. № 630. С. 5-10.
- 21. Chen. C., Ekici E. A Routing Protocol for Hierarchical LEO/MEO Satellite IP Networks // Wireless Networks. 2005. no. 11. pp. 507–521.
- 22. Durresi A., Dash D., Anderson B.L., Kannan R., Kota S., Jain R. Routing of Real-time Traffic in a Transformational Communications Architecture // Aerospace Conference, IEEE. 2004. Vol. 2. pp. 1086-1104.
- 23. Akyildiz I. F., Ekici E., Bender M. D. MLSR: A Novel Routing Algorithm for Multilayered Satellite IP Networks // IEEE/ACM transactions on networking. Vol. 10. No. 3. 2002. pp. 411-424.
- 24. Алехин С.В., Войткевич К. Л. Моделирование протокола маршрутизации для беспроводных мобильных сетей // Электросвязь. 2014. № 7. С. 7-8.
- 25. 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.
- 26. 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.

- 27. Комяков А. В., Войткевич К. Л., Сулима А. А. Инновационные решения для перспективных летательных аппаратов // Деловая слава России. 2013. № 3 (41). С. 26-27.
- 28. 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.
- 29. 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.
- 30. 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.
- 31. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.
- 32. 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.
- 33. Иванов В. И. Централизованный метод балансировки нагрузки в низкоорбитальной спутниковой системе // T-Comm. 2014. № 4. С. 38-42.

References

- 1. Fedosov E. A. Aviatsiia PVO Rossii i nauchno tekhnicheskii progress: boevye kompleksy i sistemy vchera, segodnia, zavtra. Monografiia [Air Defence of Russia and Scientific Technical Progress: Combat Systems and Systems Yesterday, Today, Tomorrow. Treatise]. Moscow, Drofav Publ., 2005, 815 p. (in Russian).
- 2. 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).
- 3. 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).
- 4. Legkov K. E. Methods of increase of productivity of wireless meshnetworks of a special purpose. *T-Comm*, 2011, no. 3, pp. 46-48 (in Russian).
- 5. Kulakov M. S. Analysis of functioning of mobile self_organizing networks MANET on the media access control layer MAC. *T-Comm*, 2014, no. 10, pp. 39-42 (in Russian).

- 6. Kulakov M. S. Primenenie algoritmov samoorganizatsii dlia rezhima VDL-2 [The application of self-organization algorithms for VDL-2 mode]. *Fundamental'nye problemy radioelektronnogo priborostroeniia*, 2012, vol. 5, no. 5, pp. 58-62 (in Russian).
- 7. 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).
- 8. Makarenko S. I., Ivanov M. S., Popov S. A. *Pomekhozashchishchennost'* sistem sviazi s psevdosluchainoi perestroikoi rabochei chastity. Monografija [Interference Resistance Communication Systems with Frequency-Hopping Spread Spectrum. Treatise]. St-Petersburg, Svoe Izdatel'stvo Pabl., 2013, 166 p. (in Russian).
- 9. Makarenko S. I., Ryimshin K. Yu., Mikhailov R. L. Model' funktsionirovaniia ob"ekta seti sviazi v usloviiakh ogranichennoi nadezhnosti kanalov sviazi [Model of Functioning of Telecommunication Object in the Limited Reliability of Communication Channel Conditions]. *Information Systems and Technologies*, 2014, no. 6, pp. 139-147 (in Russian).
- 10. 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 01 August 2015) (in Russian).
- 11. 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 01 August 2015) (in Russian).
- 12. Makarenko S. I., Mikhailov R. L., Novikov E. A. Issledovanie kanal'nykh i setevykh parametrov kanala sviazi v usloviiakh dinamicheski izmeniaiushcheisia signal'no—pomekhovoi obstanovki [The Research of Data Link Layer and Network Layer Parameters of Communication Channel in the Conditions Dynamic Vary of the Signal and Noise Situation]. *Journal of Radio Electronics*, 2014, no. 10. Available at: http://jre.cplire.ru/jre/oct14/3/text.pdf (accessed 01 August 2015) (in Russian).
- 13. Nauchno-proizvodstvennoe predpriiatie "Polet". Available at: http://www.polyot.atnn.ru (accessed 03 February 2015) (in Russia).
- 14. Telegin G. A., Moiseev N. I., Demidov A. S., Ryazantsev O. D., Alybin V. G. Sputnikovye integrirovannye telekommunikatsionnye seti na tekhnologii ATM [Satellite Integrated Telecommunication Networks Basedon Atm-Technology]. 11-th International Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2001), 10-14 September, Sevastopol, 2001.
- 15. Kuzenkov A. Sostoianie i perspektivy razvitiia otechestvennykh retransliatorov [The State and Prospects of Development of Domestic Repeaters]. *Aerospace courier*, 2013, vol. 2, pp. 42-45 (in Russian).

- 16. Nazarov A. N., Sychev K. I. *Modeli i metody rascheta pokazatelei kachestva funktsionirovaniia uzlovogo oborudovaniia i strukturno-setevykh parametrov setei sviazi 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 Pabl., 2010, 389 p. (in Russian).
- 17. 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).
- 18. Pastukhov A. S., Peregniak A. E., Luk'iantsev S. A., Simonian A. G. Otsenka vzaimnogo vliianiia samopodobnykh Internet i videotrafika pri peredache po gibridnym setiam sputnikovoi sviazi [Assessment of Interference of Self-Similar Internet and Video Traffic During Transmission Over Hybrid Networks Satellite Networks]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye kompleksy i sistemy*, 2009, vol. 5, № 1, pp. 58-61 (in Russian).
- 19. Pastukhov A. S., Razumov Ia. M., Okulov K. Iu., Gureev A. K. Modelirovanie sovmestnoi peredachi video- i Internet-trafika v standarte DVB/IP/MPEG-2 v gibridnykh sputnikovykh setiakh sviazi [Modeling joint video and Internet traffic as standard DVB/IP/MPEG-2 in hybrid satellite networks]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye kompleksy i sistemy*, 2007, vol. 3. no. 2, pp. 56-60 (in Russian).
- 20. Mal'tsev G. N., Tsvetkov K. Iu., Rodionov A. V., Akmolov A. F., Efimov S. N., Kosarevich D. V., Viktorov E. A. The concept of building different multi-satellite communications system with mobile subscribers. *Trudy Voenno-Kosmicheskoi Akademii Imeni A. F. Mozhaiskogo*, 2011, no. 630, pp. 5-10 (in Russian).
- 21. Chen. C., Ekici E. A Routing Protocol for Hierarchical LEO/MEO Satellite IP Networks. *Wireless Networks*, 2005, no. 11, pp. 507–521.
- 22. Durresi A., Dash D., Anderson B. L., Kannan R., Kota S., Jain R. Routing of Real-time Traffic in a Transformational Communications Architecture. *Aerospace Conference*, IEEE, 2004, vol. 2, pp. 1086-1104.
- 23. Akyildiz I. F., Ekici E., Bender M. D. MLSR: A Novel Routing Algorithm for Multilayered Satellite IP Networks. *IEEE/ACM transactions on networking*, 2002, vol. 10, no. 3, pp. 411-424.
- 24. Alekhin S. V., Voitkevich K. L. Modelirovanie protokola marshrutizatsii dlia besprovodnykh mobil'nykh setei [Routing Protocol's Simulation for Wireless Mobile Networks]. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2014, no. 7, pp. 7-8 (in Russian).
- 25. Voytkevich K. L., Sulima A. A., Zats P. A. Problemy postroeniia kanala upravleniia bespilotnymi letatel'nymi apparatami na osnove DKMV-radiolinii [The Problem of Constructing a Control Channel of Unmanned Aerial Vehicles Based on DKMV -Radio]. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2014, no. 7, pp. 9-11 (in Russian).

- 26. Voytkevich K. L., Rezvov A. V., Shanin V. N. Spetsializirovannye lokal'nye besprovodnye mobil'nye seti grazhdanskogo i voennogo naznacheniia [Specialized Local Wireless Mobile Networks for Civil and Military Purposes]. *Sistemy i sredstva sviazi, televideniia i radioveshchaniia*, 2013, № 1-2, pp. 130-133 (in Russian).
- 27. Komiakov A. V., Voytkevich K. L., Sulima A. A. Innovatsionnye resheniia dlia perspektivnykh letatel'nykh apparatov [Innovative Solutions for Advanced Aircraft]. *The inter-industry almanac "Delovaia slava Rossii"*, 2013, vol. 41, no. 3, pp. 26-27 (in Russian).
- 28. Belousov Ye. L., Bryantsev V. Ph., Voytkevich K. L., Keystovich A. V., Sayphetdinov Kh. I. Voprosy sozdaniia aviatsionnogo radiosviaznogo oborudovaniia po printsipu «programmiruemoe radio» [Issues of Developing Aviation Radio Communication Equipment on "Software-Defined Radio" Principle]. *Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev*, 2012, vol. 95, no. 2, pp. 11-18 (in Russian).
- 29. Belousov Ye. L., Bryantsev V. Ph., Voytkevich K. L., Keystovich A. V., Sayphetdinov Kh. I. Perspektivnoe bortovoe oborudovanie seti aviatsionnoi radiosviazi [Advanced Airborne Equipment for the Aviation Radio Communication Network]. *Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev*, 2012, vol. 96, no. 3, p. 11 (in Russian).
- 30. Voytkevich K. L. Opyt po sozdaniiu bortovykh kompleksov sviazi dlia samoletov takticheskogo zvena upravleniia [Experience on Creation of Onboard Complexes of Communication for Planes of a Tactical Control Link.]. *Sistemy i sredstva sviazi, televideniia i radioveshchaniia*, 2009, no. 1-2, pp. 42-43 (in Russian).
- 31. Makarenko S. I. Adaptivnoe upravlenie skorostiami logicheskikh soedinenii v kanale radiosviazi mnozhestvennogo dostupa [Adaptive Control Speed Logical Connections in the Radio Multiaccess Channel]. *Information and Control Systems*, 2008, no. 6, pp. 54-58 (in Russian).
- 32. 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).
- 33. Ivanov V. I. Tsentralizovannyi metod balansirovki nagruzki v nizkoorbital'noi sputnikovoi sisteme [The centralized load balancing method for low earth orbit satellite system]. *T-Comm*, 2014, no 4, pp. 38-42 (in Russian).

Статья поступила 12 августа 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; Меsh-технологии. Е-mail: aganesov.artur@yandex.ru

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

Quality of Service of Aerospace Network Based on Hierarchical and Decentralized Routing Protocols

Aganesov A. V.

Statement of the problem. The creation of the united aerospace networks makes it relevant tasks of routing and relaying of messages in it. Given the quality of service of traffic you need to ensure. Two variants of the structure of the aerospace network considered in earlier works by the author. The first variant is a hierarchical structure where all traffic air networks is routing through the satellite network. The second variant is the decentralized structure with the use of the Mesh technology for join of air networks and the routing of traffic by through the adjacent air networks. The purpose of this work is the analysis and comparison of bandwidth in these variants of structure of the aerospace network. Used methods. The aerospace network model based on the model of hierarchical routing and decentralized routing model of traffic are presented in the earlier papers of the author. The air network model based on the CSMA/CA protocol model. The satellite network model based on the S-Aloha model. Novelty. Comparative evaluation of the bandwidth of the aerospace network with hierarchical and decentralized routing and the original model are the novelty of the paper. Practical relevance: the bandwidth estimation are presented in this work will be used to inform protocols relay traffic in the global aerospace networks. These results will be used for software routers of aerospace communication networks, built by Mesh technology.

Keywords: satellite network, relay traffic, routing, satellite network, radio networks, S-Aloha, 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. E-mail: aganesov.artur@yandex.ru

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