УДК 004.72

# Модель сети спутниковой связи на основе протокола случайного множественного доступа S-Aloha

#### 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. Целью работы является разработка модели сети спутниковой связи, которая объединяет сети воздушной радиосвязи. При этом передача в сети спутниковой связи ведется по протоколу S-Aloha. На основе данной модели предполагается провести исследование влияния транзитного трафика из сетей воздушной радиосвязи на эффективную пропускную способность и время передачи сообщений в сети спутниковой связи. Используемые методы. В основу модели сети спутниковой связи положена известная модель синхронного случайного множественного доступа. Новизна. Элементом новизны представленной модели являются учет в качестве нагрузки отдельных сетей воздушной радиосвязи. 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. Также возможна реализация на основе протокола OpenFlow для программноконфигурируемых сетей SDN.

**Ключевые слова:** сеть связи, ретрансляция, маршрутизация, сеть спутниковой связи, сеть воздушной радиосвязи, S-Aloha.

#### 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 наземных полевых систем связи, а также воздушных сетей радиосвязи будут положены радиосети, реализованные на основе протоколов случайного множественного доступа и объединяемые в единое информационное пространство за счет абонентов, находящихся в зоне действия смежных радиосетей (рис. 1).

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, стыкуемых через сети спутниковой связи

(ССС). Актуальность обусловлена тем, что именно на СВРС, в условиях проведения военной операции, планируется возложить информационное ретрансляцию информационных обеспечение авиации И подразделений сухопутных войск, и от развертываемых в районе операции разведывательных сетей на основе БПЛА. Кроме того, как показано в работах **CBPC** [9-14],доступны наземным авиационным средствам радиоэлектронного подавления, что существенно затрудняет ретрансляцию информационных потоков.

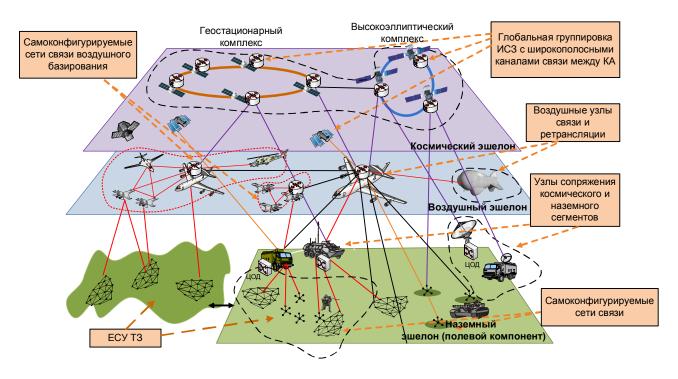


Рис. 1. Общая схема взаимодействия наземного полевого, воздушного и космического эшелонов объединенной системы связи для ВС РФ

Анализ современных и перспективных технических решений на основе работ [6, 7, 15, 16, 17, 72, 73, 75, 76] 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 [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

No		TKC-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

<sup>\*</sup> ТКС-2М отличается от ТКС-2 циклограммой работы и составом передаваемой информации.

Таблица 2 – Некоторые TTX перспективного комплекса связи

№	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 ECCC-2 (ECCC-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 ECCC-2 (ECCC-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

ТТХ комплекса связи C-111, значимые для решения задач ретрансляции информационных потоков представлены в таблице 2 по данным работ [7, 15, 18]. Как показывает анализ данных таблицы 2, в состав комплекса авиационной связи включена станция спутниковой связи, которая позволит организовать сопряжение СОД через ССС. Концепцией построения систем связи специального назначения предполагается, что ССС будет использовать режим

коммутации пакетов с их обработкой на борту [19, 20]. При этом спутникиретрансляторы (СР) 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) [7]. 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.

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, реального режимом времени управления 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, обусловленные предъявляются гораздо более требования, жесткие используемым кодеком информации (таблицы 3, 4) [21, 22, 70].

Вышеуказанные факторы определяют актуальность разработки технологических способов ретрансляции трафика СВРС через ССС, как именно: разработки составной части более общей задачи, методического аппарата решения задачи маршрутизации воздушнокосмических сетях связи с заданным качеством обслуживания.

Таблица 3 - Допустимые значения параметров качества обслуживания при передаче мультимедийного трафика [21, 22]

	<u> </u>	1 1			
Тип сервиса	Параметры качества обслуживания				
	Время	Вероятность	Задер-	Джит-	Вероят-
	установления	разрыва	жка, мс	тер, мс	ность поте-
	соединения, с	соединения			ри данных
IР-телефония	0,5-1	10 <sup>-3</sup>	25-500	100-	10 <sup>-3</sup>
				150	
Видеоконференция	0,5-1	10 <sup>-3</sup>	30	30-100	10 <sup>-3</sup>
Цифровое видео по	0,5-1	$10^{-3}$	30	30-100	$10^{-3}$
запросу					
Передача данных	0,5-1	10 <sup>-6</sup>	50-1000	-	10 <sup>-6</sup>
Телевизионное	0,5-1	10 <sup>-8</sup>	1000	-	10 <sup>-8</sup>
вещание					

Таблица 4 - Требования к качеству услуг, предоставляемых мультисервисными сетями связи [21, 22]

T	F	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 MC	<3%
Аудио	Передача голоса	4-32 кбит /с	<1 с (для воспроизведения); <2 с (для записи)	<1 MC	<3%
	Звуковое вещание	16-128 кбит/ с	<10 c	<<1 Mc	<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 <sup>-6</sup> BER

# 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) [7].

Станция «Кулон-В» является первой самолетной станцией с пропускной способностью до десяти помехозащищенных каналов. Выполняет функции микроузловой или земной станции (3C) космической малоканальной связи, работающей в оперативно-тактических специальных Применяемые в станции антенные синфазные решетки позволяют существенно аэродинамику сравнению улучшить самолета ПО использованием параболической антенны. Станция позволяет организовать круглосуточную непрерывную связь на всей территории Северного полушария Земли [7].

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 [7].

Станция «4РТ-С» обеспечивает прием и передачу телекодовой и телеграфной информации в через СР на высокой эллиптической орбите Единой системы спутниковой связи [7].

Systems of Control, Communication and Security

Таблица 5 - Некоторы	е ТТХ авиационных средств	спутниковой связи	[7]	
		, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	1 ' 1	

	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. организовать полноценную маршрутизацию позволит информационных **CBPC** через CCC. Рассмотрим потоков отдельных современные подходы к организации маршрутизации и ее особенности, применительно к ССС.

При решении задач маршрутизации в ССС помимо стандартных показателей качества каналов связи необходимо учитывать дополнительные особенности, которые существенно усложняют процедуры маршрутизации, разработанные для наземных сетей. Эти особенности связаны со способами излучения, распространения и приема радиосигналов, а также небольшим временем «жизни» топологии каналов связи негеостационарных ССС, особенно низкоорбитальных сетей вследствие высокой скорости движения СР (под временем «жизни» топологии понимается интервал времени сохранения неизменной топологии сети связи). В зависимости от целевого назначения ССС CP, межспутниковой ретрансляции при ΜΟΓΥΤ использоваться ненаправленные, слабоили высоконаправленные антенные Излученный ретранслятором радиосигнал при использовании ненаправленных или слабонаправленных антенн может поступить на входы приемников нескольких СР-соседей, которые находятся в зоне радиовидимости данного ретранслятора (широковещательный характер радиоканалов - это, пожалуй, главных отличий наземных OT систем связи контексте маршрутизации). Зона радиовидимости ретрансляторов определяется направленными свойствами бортовых приемо-передающих антенно-фидерных систем, мощностью передатчиков, диапазоном используемых частот, высотой орбит и др. Например, при малой высоте орбит из-за кривизны поверхности Земли зона радиовидимости меньше, чем при большей высоте орбит. Так, при высоте орбит от 800 до 1400 км время «жизни» топологии составляет примерно от трех до десяти минут [23].

В перспективных проектах, рассматриваются интегрированные сети связи, которые представляют собой объединение спутниковых и наземных сетей связи [29]. Спутниковый сегмент представляет собой объединенную сеть геостационарных, высокоэллиптических, средне- или низкоорбитальных сетей спутников-ретрансляторов. Возможные маршруты информационных потоков в таких системах включают в себя [23, 77-80]:

- межспутниковые каналы связи (между низкоорбитальными спутниками, между низко- и высокоорбитальными ретрансляторами, между высокоорбитальными ретрансляторами),
- каналы связи СР земная станция,
- каналы связи наземных сетей.

Очевидно, ЧТО алгоритмы маршрутизации, которые должны использоваться в различных сегментах этих сетей, будут различными. С целью упрощения программно-аппаратных средств, в таких интегрированных сетях целесообразно использовать одну универсальную схему выбора маршрута. В этом случае во всех сегментах сети будут измеряться и рассчитываться одни и те же показатели, на базе которых и определяются оптимальные в выбранной маршруты. Однако в настоящее время различные интегрированных сетей проектируются и изготавливаются производителями, что, с учетом указанных выше особенностей маршрутизации придает задаче маршрутизации в интегрированных космических сетях связи особую актуальность.

Изменения топологии и характеристик трафика в ССС хотя и носят высокодинамичный характер, но в большей своей части являются предсказуемыми. В частности [23, 77-80]:

- зоны радиовидимости и топология орбитальной сети связи вполне детерминированы, так как ретрансляторы движутся по орбитам с постоянными и практически неизменными баллистическими параметрами. Поэтому местоположение СР и зон радиовидимости с другими ретрансляторами орбитальной группировки может быть рассчитана заранее;
- орбитальные группировки для ССС коммерческого применения, как правило, в пространстве представляют собой регулярную структуру. Например, ССС Iridium представляет собой развертку цилиндра с детерминированной решетчатой структурой;
- моменты появления трафика в линиях связи «вверх» для каждого СР вполне предсказуемы, так как заранее известны моменты появления каждого СР над каждым географическим районом Земли;
- над полюсами в орбитальной группировке ССС возникают большие скопления (пучности) ретрансляторов. В этом случае в зоне радиовидимости каждого СР может находиться более десятка ретрансляторов других орбит и др.

Учет всех этих особенностей позволяет существенно снизить сложность решения задачи маршрутизации и разработать в достаточной степени эффективные алгоритмы маршрутизации в ССС [23-25, 28, 23, 77-80].

В настоящее время разработаны два базовых алгоритма маршрутизации учитывающие особенности изменения топологии ССС [23]:

- DT-DVTR (Discrete Time Dynamic Virtual Topology Routing);
- VN (Virtual Node).

Алгоритм DT-DVTR основывается на периодичности и регулярности изменений топологии орбитальной группировки. Длительность одного витка вокруг Земли для каждого космического аппарата (КА) разбивается на интервалы стационарности, на которых топология ССС неизменна. На каждом интервале задача маршрутизации решается одним из известных методов с разработкой соответствующих таблиц маршрутизации, набор которых для всех возможных интервалов стационарности хранится на борту каждого КА [23].

Алгоритм VN использует понятие виртуальной топологии ССС, которая представляет собой суперпозицию виртуальных узлов и физической (реальной) топологии орбитальной группировки. Околоземное пространство разбито на ряд соприкасающихся областей. В течение определенного периода времени каждому виртуальному узлу сопоставлен определенный физический спутник, находящийся в одной из этих областей. Во время пребывания КА в этой области виртуальная топология ССС считается неизменной. Как только спутник покидает эту область, данному виртуальному узлу ставится в соответствие другой спутник, который входит в эту область и которому передается вся информация, необходимая для работы данного виртуального узла. Таким образом, в данном случае расчет маршрутов ведется в виртуальной топологии ССС [23].

В перспективных проектах ССС предполагается применение технологии АТМ. Для маршрутизации в них разработана АТМ-версия алгоритма DT-DVTR. В этом случае каждая пара соседних КА сгруппирована в виртуальный путь VPC (Virtual Path Connection) и бортовой процессор КА при расчете маршрутов работает, исходя из меток этого VPC [23].

Таким образом, в целом схема сопряжения CBPC через ССС будет иметь вид представленный на рис. 2.

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. ССС представляет собой два сегмента - СР на высокоэллиптической орбите, решающие задачи обеспечения связью в приполярных районах и СР на геостационарной орбите, обеспечивающие связью районы Земли от 60° северной широты и южнее. 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.

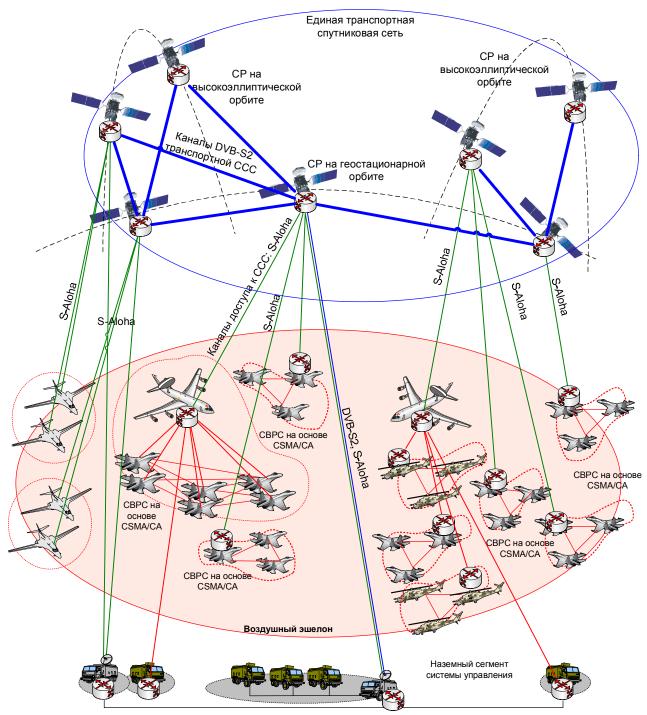


Рис. 2. Схема сопряжения СВРС через ССС

# Анализ ранее проведенных исследований в области ретрансляции информационных потоков в CBPC через ССС

Вопросы совершенствования системы связи для управления авиацией являются актуальными. Проблематике совершенствования систем связи управления авиацией посвящены работы: Федосова Е.А. [15], Киткаева С.В. [34], Коновалова О.А., Буслаева А.И., Маликова С.В. [8], Войткевича К.Л. [68-76], Сулима А.А. [70, 72], Белоусова Е.А. [73, 74, 75].

В открытой литературе вопросы организации СВРС и управления ее ресурсами в интересах информационного обеспечения действий авиации исследовались в работах: Дмитриева А.Н. [30, 31, 35-37], Мотина О.В. [30, 31,

38], Максимова А.В. [30, 31, 37], Блакитного О.А. [35], Макаренко С.И. [11, 40-42], Гимбицкого В.А. [43-48], Сныткина И.И. [43, 44, 45], Калинина В.И. [49, 50, 51], Гоцуцова С.Ю. [52], Калимулиной Э.Ю. [53], Морозова А.Н. [54], Прохорова А.В. [55, 56, 57], Колядова Д.В. [55, 56], Бондаря Д.С. [57], Войткевича К.Л. [68-76], Сулима А.А. [70, 72], Белоусова Е.А. [73, 74, 75], Брянцева В.Ф. [73, 74, 75], Кейстовича А.В. [73, 75], Сайфетдинова Х.И. [73, 74, 75].

В работах Гоцуцова С.Ю. [52] Калимулиной Э.Ю. [53] и Морозова А.Н. [54] 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. [55, 56, 57], Колядова Д.В. [55, 56], Бондаря Д.С. [57] 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 воздушного боя, не учитывались возможности органиазации сопряжения отдельных СВРС через ССС.

Наиболее фундаментальным исследованием в области маршрутизации и ретрансляции трафика в авиационных СВРС является диссертационная работа Войткевича К.Л. [68]. 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. Основные направления совершенствования СВРС представленные в работе [68] в дальнейшем получили развитие в работах: Алехина С.В. [69], Сулима А.А. [70, 72], Зац П.А. [70], Белоусова Е.А. [73, 74, 75], Брянцева В.Ф. [73, 74, 75], Кейстовича А.В. [73, 75], Сайфетдинова Х.И. [73, 74, 75]. В них повышения рассмотрены различные аспекты эффективности информационных CBPC, ретрансляции потоков В a также вопросы совершенствования оборудования авиационной связи гражданского и двойного назначения, в том числе за счет создания программно конфигурируемых сетей и радиостанций.

Особенности построения СВРС для управления именно боевой авиацией рассмотрены в работах: Дмитриева А.Н. [30, 31, 35, 36, 37], Мотина О.В. [30, 31, 38], Максимова А.В. [30, 31, 35, 37], Блакитного О.А. [35], Макаренко С.И. [33, 40-42], Гимбицкого В.А. [43-48], Сныткина И.И. [43-45]. В частности, в работах Дмитриева А.Н., Мотина О.В., Максимова А.В., Блакитного О.А. [30, 31, 35-38] 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. [43-48] 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. [33, 40-42] рассмотрены вопросы эффективного управления ресурсами СВРС для достижения заданной пропускной способности, в интересах информационного обеспечения истребительной авиации.

В работах Скороварова А.С. [59], Борисова В.И., Зинчука В.М., Лимарева А.Е. [14], Семисошенко М.А. [60], Макаренко С.И. [13, 61, 62], Иванова М.С., Попова С.А. [13], Владимирова В.И. [63], Бабусенко С. И. [64, 65] рассмотрены различные аспекты обсечения помехозащиты СВРС и их функционирования в условиях преднамеренных помех.

В работах Калинина В.И. [49-51], Шорина О.А. [58] рассматриваются особенности управления ресурсами СВРС при обеспечения заданного качества обслуживания для высокомобильных абонентов.

Вместе с тем, в вышеуказанных работах [13, 59-65] не рассматриваются возможности ретрансляции части информационного трафика через ССС, а также не учитываются возможности ретрансляции транзитных потоков через помехозащищенности работах ПО CBPC Скороварова А.С., Борисова В.И., Лимарева А.Е., Семисошенко М.А., Зинчука В.М., Макаренко С.И., Иванова М.С., Попова С.А. [13, 14, 59, 60] рассматриваются только параметры физического уровня, не рассматриваются эффекты от снижения пропускной способности СВРС как результата воздействия преднамеренных помех. работах Владимирова В.И., Бабусенко С. И., В Макаренко С.И, [9-12, 63-65] 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.

Различные аспекты построения сетевых информационных систем на в работах Камнева В. Е., представлены Черкасова В. В., Чечина Г. В. [23], Мальцева Г.Н. [25], Ададурова С.Е., Пастухова А.С. [26, 27], Дарнопых В.В. [28]. Однако в данных работах не рассматривались особенности построения многоуровневых систем связи с использованием ССС, а также вопросы ретрансляции трафика в подобных системах. Имеются работы Аболица А.И. [29], Chen C. [77, 78], Ekici E. [77, 78, 80], Akyildiz I.F. [78, 80], Dash D., Anderson B. L., Kannan R., Durresi A., Kota S., Jain R. Радионова А.В., Акмолова А.Ф. Цветкова К.Ю., [81-84] рассматривается построение сложных многоуровневых систем связи на основе ССС. Как правило, основой таких сложных систем является объединение орбитальных группировок СР на различных высотах и их комплексирование с наземными сетями связи. Вопросы маршрутизации и ретрансляции трафика в таких сложных многоуровневых системах исследовались в работах Chen C. [77, Ekici E. [77, 78, 80], Akyildiz I.F. [78, 80], Durresi A., Dash D., Anderson B. L., Kannan R., Kota S., Jain R. [79], Цветкова К.Ю., Радионова А.В., ЭТИХ Акмолова А.Ф. [81-84]. Однако работах маршрутизации В ПО информационного трафика в многоуровневых системах связи на основе ССС [23-29] не учитывается нестационарность информационного трафика в СВРС военного назначения, высокая динамическая реконфигурация авиационных сетей [39], а также возможности ретрансляции части транзитных потоков отдельных СВРС через смежные сети воздушного эшелона.

Таким образом, новизной данной работы является решение задачи моделирования процесса ретрансляции потоков СВРС через ССС, а также учет воздействия преднамеренных помех на ССС через снижение пропускной способности канала S-Aloha в соответствии с методикой [66].

# Модель сети спутниковой связи на основе протокола случайного множественного доступа S-Aloha

Модель «Синхронная ALOHA» предложенная в работе [32] используется для описания абонентского канала доступа СВРС в магистральную ССС по протоколу S-Aloha.

Алгоритм работы абонента ССС в модели представляет собой следующую последовательность действий:

- 1) если канал свободен, то абонент передает пакет;
- 2) передавая пакет, абонент прослушивает канал, если произошло наложение передачи на передачу другим абонентом, то передача откладывается, если при передаче пакета наложения не произошло, то пакет считается успешно переданным;
- 3) если канал занят, то абонент откладывает свою передачу на более позднее время, в соответствии с распределением задержки повторной передачи. Когда наступает это время, абонент вновь проверяет канал и повторяет описанный алгоритм.

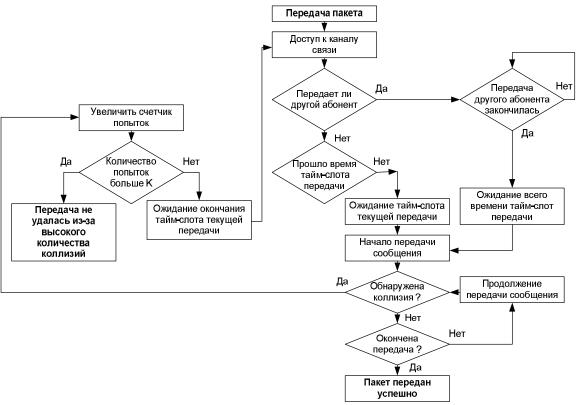


Рис. 3. Общий алгоритм функционирования алгоритма S-Aloha

Исходными данными для построения модели являются:

M — количество СВРС (абонентов ССС) совместно использующих спутниковый канал.

 $P_{\rm win}$  — длинна пакета выраженное через время передачи пакета (длинна окна).

 $S_{\rm m}$  — вероятность, что передача  $\emph{m}$ -го абонента прошла успешно, нормированное к длине окна.

 $G_{\rm m}$  – вероятность, что m-ый абонент передает пакет в каком либо окне.

Ограничения модели: рассматриваемая модель действительна при наличии большого числа равномерно «слабых» абонентов. Результаты модели получены в приближении, что нагрузка сети стремится к нулю.

Доля трафика m-ого абонента ведущего успешную передачу равна вероятности того, что когда он передавал - другие абоненты не передавали. Для абонентов совместно использующих спутниковый канал будет действительна система уравнений, определяющая наборы скоростей источников, которые канал может обслужить:

$$S_m = G_m \prod_{i \neq m} (1 - G_m), m = 1..M.$$
 (1)

Обозначим:

$$g = \prod_{i=1}^{M} \left( 1 - G_i \right), \tag{2}$$

тогда:

$$\prod_{i \neq 1} \left( 1 - G_i \right) = \frac{g}{1 - G_m}.\tag{3}$$

В этом случае систему уравнений (1) можно записать в виде:

$$S_m = \frac{G_m}{1 - G_m} g$$
, для всех  $m = 1..M$ . (4)

Отметим необходимое условие достижения максимальной скорости передачи для системы «Синхронная ALOHA»:

$$G = \sum_{m=1}^{M} G_m = 1 \tag{5}$$

где G — средний трафик в канале определяемый как число попыток передач пакетов за время окна  $P_{\rm win}$ . Несмотря на то, что  $G_{\rm m}$  представляет собой вероятность передачи пакета, сумма G может превышать 1, в силу независимости порождения пакетов абонентами ССС. По сути, параметр G представляет собой предлагаемый к передачи трафик от всех абонентов ССС, выраженный в пакетах и нормированный к длине окна.

Введем переменные:

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

на всех абонентов.

R — число окон, которые можно вложить в одно время распространения до СР и обратно.

K – количество окон, в течение которых пользователь пытается передать пакет, если первая передача завершилась наложением пакета.

1/K – вероятность выбора окна для повторной передачи.

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

S/G – вероятность успешной передачи.

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

q – вероятность того, что новый пакет успешно передан.

 $q_{\rm t}$  – вероятность того, что ранее блокированный пакет успешно передан.

Результаты будут получены при следующих предположениях: трафик в канале представляет собой независимый процесс (подтверждается результатами математического моделирования, полученными в [32]); источники образуют суммарный независимый процесс который является Пуассоновским.

Приняв во внимание влияние на канал пакетов не переданных в результате наложений и учитывая, что пакеты, испытавшие наложение, передаются в соответствии с выбранным параметром K получим [32]:

$$S = G \frac{q_t}{q_t + 1 - q},$$

где [32]:

$$q = \left(e^{-\frac{G}{K}} + \frac{G}{K}e^{-G}\right)^{K}e^{-S} \text{ if } q_{t} = \left(\frac{e^{-\frac{G}{K}} - e^{-G}}{1 - e^{-G}}\right)\left(e^{-\frac{G}{K}} + \frac{G}{K}e^{-G}\right)^{K-1}e^{-S}.$$
 (6)

Система (6) должна быть решена для получения явного выражения для S через G и K. Однако она не имеет явного решения. В [32] рассматриваются различные приближения для решения данной системы. Одним из них является приближение для K [32]:

$$\lim_{K \to \infty} \frac{S}{G} = \lim_{K \to \infty} q = \lim_{K \to \infty} q_t = e^{-G}.$$
 (7)

Причем путем математического моделирования доказывается [67], что уже при  $K \ge 15$  можно рассматривать приближение (7).

Средняя задержка пакета T, выраженная в числе окон, определяется равенством [32]:

$$T = R + 1 + \frac{1 - q}{q_t} \left( R + 1 + \frac{K - 1}{2} \right). \tag{8}$$

Воспользовавшись формулой Литла получим значение среднего числа пакетов в системе N [32]:

$$N = ST = G\left(R + 1 + \frac{K - 1}{2}\right) + S\left(\frac{K - 1}{2}\right). \tag{9}$$

Необходимо отметить, что в [32, 67] рассматриваются условия устойчивости спутникового канала и приводиться модели управления для сохранения его устойчивости. В общем случае условие устойчивости канала

выглядит как ограничение на входную скорость, которая не должна превышать выходную скорость системы:

$$S \leq \left[ S_{output} = (1-p)^{n} (M-n)\sigma (1-\sigma)^{M-n-1} + np (1-p)^{n-1} (1-\sigma)^{M-n} \right], \tag{10}$$

где  $p=(R+(K+1)/2)^{-1}$  — вероятность передачи задолженного пакета (при равномерном распределении); n — количество абонентов имеющих пакет для передачи, и готовых его передавать;  $\sigma$  — вероятность порождения новых пакетов.

Однако рассмотрение управления каналом в условиях его неустойчивости выходит за рамки работы и здесь рассматриваться не будет.

Изменим изложенную выше модель для получения явных характеристик вместо вероятностных. Введем новые переменные:

 $D_{\text{mes}}$  – длинна пакета в битах.

C – пропускная способность канала в бит/с.

 $C_{\rm e}$  – эффективная пропускная способность канала в бит/с.

 $T_{\rm m}$  — ограничение на максимальное время жизни пакета (обязательное условие для систем реального времени) в секундах.

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

 $T_{\rm a}$  – время задержки пакета в канале в секундах.

 $\lambda_{\rm m}$  - интенсивность информационного потока в бит/с поступающий в *m*-ному абоненту ССС из его СВРС.

Получим зависимости для  $C_e$  и  $T_a$  от  $\lambda_{m,}$  C. Длина окна явным образом зависит от длины сообщения и пропускной способности канала:

$$P_{win} = \frac{D_{mes}}{C} \,. \tag{11}$$

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

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

откуда следует:

$$G = \frac{P_{win}}{D_{mes}} \sum_{m=1}^{M} \lambda_m = \frac{D_{mes}}{C / D_{mes}} \sum_{m=1}^{M} \lambda_m = \frac{1}{C} \sum_{m=1}^{M} \lambda_m.$$
 (12)

Эффективная пропускная способность канала определяется как количество успешных передач сообщений длинной  $D_{\rm mes}$  бит, за время  $P_{\rm win}$  и равно:

$$C_e = S \frac{D_{mes}}{P_{win}} = S \frac{D_{mes}}{D_{mes} / C} = SC.$$

$$\tag{13}$$

Подставляя (12) и (13) в (6) получим выражение для определения среднего количества успешных передач на окно. Учитывая, что S – нормированная величина и выражая скорость канала через  $C_{\rm e}$  (13) получим:

$$C_e = SC = CG \frac{q_t}{q_t + 1 - q} = C \frac{q_t}{(q_t + 1 - q)} \frac{1}{C} \sum_{m=1}^{M} \lambda_m = \frac{q_t}{(q_t + 1 - q)} \sum_{m=1}^{M} \lambda_m.$$
 (14)

Отметим, что для систем реального времени накладывается ограничение на максимальное время доставки пакета по сети -  $T_{\rm m}$ . Для данной модели K является варьируемым параметром, однако необходимо наложение условия, при котором передача заявки имеет смысл. При превышении времени нахождения в сети t максимально допустимого порога  $T_{\rm m}$  передача заявки теряет смысл. Поэтом на K накладывается ограничение:

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

подставляя (11) получим:

$$K \le \frac{C(T_m - t)}{D_{mos}}. (15)$$

Получим систему уравнений, определенных для всех K, для которых выполняется (15):

$$\begin{cases} C_{e} = \frac{q_{t}}{(q_{t} + 1 - q)} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m} \\ q = \left( e^{\frac{-1}{KC} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}} + \frac{\sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}}{KC} e^{\frac{-1}{C} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}} \right)^{K} e^{\frac{-C_{e}}{C}} \\ q_{t} = \left( e^{\frac{-1}{KC} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}} - e^{\frac{-1}{C} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}} - e^{\frac{-1}{C} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}} \right) \left( e^{\frac{-1}{KC} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}} + \frac{\sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}}{KC} e^{\frac{-1}{C} \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}} \right)^{K-1} e^{\frac{-C_{e}}{C}} \end{cases}$$

$$(16)$$

Учитывая приближение (7) можно упростить выражение для  $C_{\rm e}$ :

$$\begin{cases}
C_e = e^{-\frac{1}{C} \sum_{m=1}^{M} \lambda_m} \left( \sum_{m=1}^{M} \lambda_m \right) \\
15 \le K \le \frac{C(T_m - t)}{D_{mes}}
\end{cases}$$
(17)

Однако приближение (7) не учитывает влияние параметра K в явном виде, и как следствие выражение (17) не зависит от K. В [8] предложено приближение, явно учитывающее данный параметр:

$$q_t \approx \frac{K - 1}{K} e^{-G}, \tag{18}$$

В этом случае из (6) и (7), для q, получим:

$$S = G \frac{(K-1)e^{-G}}{2K-1+Ke^{-G}}. (19)$$

Окончательно имеем систему 3-ех уравнений, которая определенна при условии (15):

$$C_{e} = \frac{(K-1)e^{-\frac{1}{C}\left(\sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}\right)}}{K-e^{-\frac{1}{C}\left(\sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}\right)}} \left(\sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}\right)$$

$$q = e^{-\frac{1}{C}\left(\sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}\right)}$$

$$q_{t} = \frac{K-1}{K}e^{-\frac{1}{C}\left(\sum_{m=1}^{M} \lambda_{m}\right)}$$

$$(20)$$

Математическое моделирование подтвердило [32] факт сходимости результатов для S(G, K) для  $K \ge 15$ .

Определим задержку сообщений при передаче T. Так как T зависит от R (см. (8)), определим R через характеристики канала:

$$R = \frac{2d_{sot}/c}{P_{win}} = \frac{2d_{sot}C}{cD_{mes}},\tag{21}$$

где  $c = 300\ 000\$ км/с — скорость распространения электромагнитных волн;  $d_{\rm sot}$  — дальность от терминала до спутника в километрах. (В работе [32] используется приближение: дальность от терминала до спутника равна высоте полета спутникового ретранслятора, что для летательных аппаратов с большой высотой полета, особенно при нахождении спутника у линии горизонта приводит к существенным погрешностям вычислений).

Тогда задержка, выраженная в секундах, будет равна (из формулы (8)):

$$T_{a} = \frac{D_{mes}}{C} \left( \frac{2d_{sot}C}{cD_{mes}} + 1 + \frac{K \left( 1 - e^{-\frac{1}{C} \left( \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m} \right)} \right)}{\left( K - 1 \right) e^{-\frac{1}{C} \left( \sum_{m=1}^{M} \lambda_{m} \right)}} \left( \frac{2d_{sot}C}{cD_{mes}} + \frac{K - 1}{2} + 1 \right) \right).$$
 (22)

Параметр K определяется условием (15), а q и  $q_t$  можно получить из (20). Отметим, что спутниковый канал не нуждается в обратных квитанциях о правильном приеме сообщения, так как терминал может сам прослушать свою передачу спустя время R, и сделать вывод о ее успешности.

#### Выводы

Таким образом, получены количественные характеристики качества обслуживания спутникового канала трафика коммутации пакетов  $-T_a$  и  $C_e$  в не OT вероятностных характеристик, a OT технических характеристик канала связи и абонентов, представляющих собой отдельные СВРС. Данная модель в дальнейшем может использоваться для расчета воздушно-космических сетей связи и обоснования ИХ структуры при использовании в качестве канала доступа к ССС канала множественного доступа на основе протокола S-Aloha.

### Литература

- 1. Денисов Б. Б. Проблемы наращивания телекоммуникационного ресурса функционирования информационно-управляющих назначения [Доклад] Мат. Всероссийской научной специального конференции «Современные тенденции развития теории практики управления в системах специального назначения». Под ред. Ю.В. Бородакия. М.: АО «Концерн «Системпром», 2012.
- 2. Кобозев Ю. Н Перспективы развития систем связи И телекоммуникаций в информационно-управляющих системах специального // Мат. Всероссийской [Доклад] научной конференции «Современные тенденции развития теории и практики управления в системах назначения». Том 4 «Телекоммуникации специального связь информационно-управляющих системах». Под ред. Ю.В. Бородакия. М.: ОАО «Концерн «Системпром», 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 «Системпром», 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. Бородакия Ю.В. М.: ОАО «Концерн «Системпром», 2013. С. 38-41.
- 5. Информационные технологии, связь и защита информации в МВД России 2012 / По ред. Тюркина М.Л., Шадаева М.И., Аджемова А.С., Иванова И.П., Дворянкина С.В., Куц А.В., Квитко А.В., Важева П.А., Быстрова Ю.А. М.: ООО «Компания «Информационный мост», 2013. 156 с. URL: www.informost.ru (дата доступа 03.05.2015).
- 6. Связь в Вооруженных силах Российской Федерации 2013: тематический сборник. / Под ред. Абрамовича А.В., Герасимова А.В., Цибина С.В., Ометова К.С., Быстрова Ю.А. М.: ООО «Компания

«Информационный мост», 2013. 216 с. URL: www.informost.ru (дата доступа 03.05.2015).

- 7. 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.
- 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 системы случайным ДЛЯ связи доступом абонентов множественным 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. Борисова В.И.; 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. Федосова Е.А. М.: Дрофа, 2005. 815 с.
- 16. Макаренко С. И., Сапожников В. И., Захаренко Г. И., Федосеев В. Е. Системы связи: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов / под общ. ред. С. И. Макаренко. Воронеж: ВАИУ, 2011. 285 с.

- 17. Комяков А. В., Вдовин Л. М., Кондина И. В., Кулаков Д. С. Современная отечественная авиационная аппаратура автоматического обмена данными // Электросвязь. 2010. № 6. С. 32-37.
- 18. Научно-производственное предприятие «Полет». Официальный сайт. [Электронный ресурс]. 2015. URL: http://www.polyot.atnn.ru (дата доступа 03.02.2015).
- 19. Телегин Г. А., Моисеев Н. И., Демидов А. С., Рязанцев О. Д., Алыбин В. Г. Спутниковые интегрированные телекоммуникационные сети на технологии АТМ // 11 Международная конференция «Микроволновые и телекоммуникационные технологии» (CriMiCo'2001). 10-14 сентября. Севастополь, 2001.
- 20. Кузенков А. В. Состояние и перспективы развития отечественных ретрансляторов // Аэрокосмический курьер. 2013. № 2. С. 42-45.
- 21. 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.
- 22. 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.
- 23. Камнев В. Е., Черкасов В. В., Чечин Г. В. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие. М.: «Альпина Паблишер», 2004. 536 с.
- 24. Иванов В. И. Централизованный метод балансировки нагрузки в низкоорбитальной спутниковой системе // T-Comm. 2014. № 4. С. 38-42. □
- 25. Мальцев Г. Н. Сетевые информационные технологии в современных спутниковых системах связи // Информационно-управляющие системы. 2007. № 1. С. 33-39.
- 26. 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 комплексы и системы. 2009. Т. 5. № 1. С. 58-61.
- 27. 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 комплексы и системы. 2007. Т. 3. № 2. С. 56-60.
- 28. Дарнопых В. В. Планирование целевого функционирования космических аппаратов и систем: задачи, методы и алгоритмы их решения // Труды Московского авиационного института. 2004. №16.
- 29. Аболиц А.И., Степанов Л. А. Интеграция спутникового и наземного беспроводного широкополосного доступа // Электросвязь. 2007. № 9. С. 22-26.
- 30. 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.

- 31. 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.
- 32. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями. Пер с англ. М.: Мир. 1979. 600 с.
- 33. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.
- 34. Киткаев С. В. Концепция технической модернизации средств авиационной электросвязи России // Электросвязь. 2009. № 5. С. 29-33.
- 35. 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.
- 36. Дмитриев А. Н., Мотин О. В. Модель авиационного УКВ канала обмена данными // Тезисы докл. науч. техн. конференции. Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.
- 37. Дмитриев А. Н., Максимов А. В. Оптимизация авиационных сетей обмена данными // Сборник трудов X НТК «Проблемы радиосвязи». Н.Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.
- 38. Мотин О. В. Модель функционирования авиационного УКВ канала обмена данными // XXIV военно-научная конференция молодых ученых. Щелково: 30 ЦНИИ МО РФ, 2001.
- 39. 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.
- 40. Макаренко С. И. Особенности распределения ресурсов радио сети управления авиационными комплексами перехвата в условиях варьирования интенсивности информационного обмена // Материалы Всероссийской научнотехнической конференции «VIII научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского». Часть 2. М.: изд. ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2007. С. 118.
- 41. Макаренко С. И. пропускной Задача адаптивного управления способностью радиосвязи условиях каналов сети воздушной юбилейной данных // Сборник докладов квазистационарности потоков Всероссийской научно-технической школы-семинара «Проблемы совершенствования боевых комплексов, авиационных повышение эффективности их эксплуатации и ремонта» - Ставрополь: СВВАИУ, 2007. – C. 25-28.
- 42. Макаренко С. И. Расчет параметров алгоритма адаптивного распределения пропускной способности каналов наведения в сети воздушной Всероссийской радиосвязи Сборник докладов юбилейной научнобоевых технической школы-семинара «Проблемы совершенствования

авиационных комплексов, повышение эффективности их эксплуатации и ремонта» - Ставрополь: СВВАИУ, 2007. – С. 28-33.

- 43. 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.
- 44. 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.
- 45. 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.
- 46. 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.
- 47. Гимбицкий В. А., Бакум А. Н. Совершенствования боевого управления авиацией ПВО // Тезисы докладов 18 НТК курсантов СВВАИУ. Ставрополь: СВВАИУ, 1996.
- 48. 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.
- 49. 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.
- 50. 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.
- 51. Калинин В. И. Потоковые сетевые модели в системах связи с подвижными объектами [Доклад] // 66 НТК СПбНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.
- 52. 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.
- 53. 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.
- 54. 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.

- 55. 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.
- 56. 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.
- 57. 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.
- 58. Шорин О. А. Методы оптимального распределения частотновременного ресурса в системах подвижной радиосвязи. Дис. .... д. техн. наук по спец. 05.12.13. М.: МТУСИ, 2005. 351 с.
- 59. 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.
- 60. Семисошенко М. А. Управление автоматизированными сетями декаметровой связи в условиях сложной радиоэлектронной обстановки СПб.: ВАС, 1997. 364 с.
- 61. 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).
- 62. 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).
- 63. Владимиров В. И. Информационные основы радиоподавления линий радиосвязи в динамике радиоэлектронного конфликта. Воронеж: ВИРЭ. 2003. 276 с.
- 64. Бабусенко С. И., Исаев В. В. Статистическое моделирование многопролетных сетей пакетной радиосвязи. Мат. 18 НТК Техника средств связи Воронеж: НИИС, 1992.
- 65. Бабусенко С. И., Исаев В. В. Аналитическая модель маршрутизации в пакетной радиосети. Мат. 18 НТК Техника средств связи Воронеж: НИИС, 1992.
- 66. 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 03.02.2015).

- 67. Авен О. И., Гурин Н. Н., Коган Я. А. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем. М.: Наука, Главная редакция физикоматематической литературы, 1982.
- 68. 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.
- 69. Алехин С.В., Войткевич К. Л. Моделирование протокола маршрутизации для беспроводных мобильных сетей // Электросвязь. 2014. № 7. С. 7-8
- 70. 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.
- 71. 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.
- 72. Комяков А. В., Войткевич К. Л., Сулима А. А. Инновационные решения для перспективных летательных аппаратов // Деловая слава России. 2013. № 3 (41). С. 26-27.
- 73. Белоусов Е. Л., Кейстович А. В., Войткевич К. Л., Брянцев В. Ф., Сайфетдинов Х. И. Современное оборудование сети авиационной электросвязи // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2012. № 1-2. С. 70-73.
- 74. 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.
- 75. 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.
- 76. 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.
- 77. Chen C., Ekici E. A Routing Protocol for Hierarchical LEO/MEO Satellite IP Networks // Wireless Networks. 2005. No. 11. pp. 507–521.
- 78. Chen C., Ekici E., Akyildiz I. F. Satellite Grouping and Routing Protocol for LEO/MEO Satellite IP Networks // // Proceedings of the 5th ACM international workshop on Wireless mobile multimedia. ACM, 2002. Pp. 109-116.
- 79. 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. C. 1086-1104.
- 80. 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.

- 81. Цветков К. Ю., Акмолов А. Ф., Ефимов С. Н., Викторов Е. А., Веремчук А.С. Концепция построения разновысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами: алгоритм расширяющегося поиска мобильных абонентов // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2014. № 642. С. 41-48.
- 82. Цветков К. Ю., Радионов А. В., Акмолов А. Ф., Ефимов С. Н., Викторов Е. А. Концепция построения разновысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами: баллистическое построение // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2012. № 634. С. 45-55.
- 83. Цветков К.Ю., Радионов А.В., Акмолов А.Ф., Ефимов С.Н., Викторов Е.А. Концепция построения разновысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами: варианты реализации бортового коммуникационного оборудования спутника-ретранслятора // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2012. № 635. С. 5-13.
- 84. Цветков К.Ю., Акмолов А.Ф., Ефимов С.Н., Викторов Е.А., Веремчук А.С. Концепция построения разновысотной многоспутниковой системы связи с мобильными абонентами: принципы построения шлюзовых станций и аппаратуры потребителей // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2013. № 638. С. 16-24.

#### References

- 1. Denisov B. B. Problemy narashchivaniia telekommunikatsionnogo resursa v interesakh funktsionirovaniia informatsionno-upravliaiushchikh sistem spetsial'nogo naznacheniia [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 naznacheniia»* (Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Modern trends in the theory and practice of control systems for special purposes"). Moscow, JSC "Concern "Sistemprom", 2012 (in Russian).
- 2. Kobozev Iu. N. Perspektivy razvitiia sistem sviazi i telekommunikatsii v informatsionno-upravliaiushchikh sistemakh spetsial'nogo naznacheniia [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 naznacheniia»* (Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Telecommunications and Communication in Management Information Systems), vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sistemprom", 2013, pp. 7-9 (in Russian).

- 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 naznacheniia*» (Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Modern Trends in the Theory and Practice of Control Systems for Special Purposes"), vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sistemprom", 2013, pp. 16-20 (in Russian).
- 4. Legkov K. E., Lediankin I. A. Osnovnye podkhody k predostavleniiu uslug v infokommunikatsionnykh sistemakh spetsial'nogo naznacheniia [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 naznacheniia»* (Proceedings of All-Russian Scientific Conference "Telecommunications and Communication in Management Information Systems"), vol. 4, Moscow, JSC "Concern "Sistemprom", 2013, pp. 38-41 (in Russian).
- 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 Ttraining 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 vozdeistviia 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 vozdeistviia 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 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).
- 14. Borisov V. I., Zinchuk V. M., Limarev A. E. *Pomekhozashchishchennost'* sistem radiosviazi 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 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).
- 16. Makarenko S. I., Sapozhnikov V. I., Zakharenko G. I., Fedoseev V. E. *Sistemy sviazi* [Radio Communications System]. Voronezh, Military Aviation Engineering University, 2011, 285 p. (in Russian).
- 17. Komiakov A. V., Vdovin L. M., Kondina I. V., Kulakov D. S. Sovremennaia otechestvennaia aviatsionnaia apparatura avtomaticheskogo obmena dannymi [Modern Domestic Aviation Equipment for Automatic Data Exchange]. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2010, vol. 6, pp. 32-37(in Russia).
- 18. Nauchno-proizvodstvennoe predpriiatie "Polet". Available at: http://www.polyot.atnn.ru (accessed 03 February 2015) (in Russia).
- 19. 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.

- 20. 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).
- 21. 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).
- 22. 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).
- 23. Kamnev V. E., Cherkasov V. V., Chechin G. V. Sputnikovye seti sviazi [Satellite network], Moscow, Al'pina Pablisher Pabl., 2004, 536 p. (in Russian).
- 24. 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).
- 25. Mal'tsev G. N. Setevye informatsionnye tekhnologii v sovremennykh sputnikovykh sistemakh sviazi [Network Information Technologies in Modern Satellite Communication Systems]. *Information and Control Systems*, 2007, № 1. pp. 33-39 (in Russian).
- 26. 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).
- 27. 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. № 2, pp. 56-60 (in Russian).
- 28. Darnopykh V. V. Planirovanie tselevogo funktsionirovaniia kosmicheskikh apparatov i sistem: zadachi, metody i algoritmy ikh resheniia [The Planning Target Functioning Spacecraft and Systems: Challenges, Methods and Algorithms of Their Solution]. *Trudy Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, vol. 16, 2004 (in Russian).
- 29. Abolits A. I., Stepanov L. A. Integratsiia sputnikovogo i nazemnogo besprovodnogo shirokopolosnogo dostupa [Integration of Satellite and Terrestrial Wireless Broadband Access] *Telecommunications and Radio Engineering*, 2007, № 9, pp. 22-26 (in Russian).

- 30. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Otsenka effektivnosti setei vozdushnoi radiosviazi 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).
- 31. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Modeli setei radiosviazi, ispol'zuiushchie razlichnye algoritmy mnozhestvennogo dostupa [Model Radio Communications Networks that use Different Algorithms for Multiple Access Telecommunications]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii* (Proceedings of the Conference), Kaluga, JSC "Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroistv", 2002 (in Russian).
- 32. Kleinrock L. *Queueing Systems: Volume II Computer Applications*. New York: Wiley Interscience. p. 576.
- 33. 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).
- 34. Kitkaev S. V. Kontseptsiia tekhnicheskoi modernizatsii sredstv aviatsionnoi elektrosviazi Rossii [The Concept of Technical Modernization of Aviation's Telecommunication Russia]. *Telecommunications and Radio Engineering*, 2009, no. 5, pp. 29-33 (in Russian).
- 35. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Blakitnyi O. A. Problema postroeniia edinoi avtomatizirovannoi sistemy radiosviazi 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 radiosviazi*" (Proceedings of the Conference "Problems of radio communication"). Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriiatie «Polet», 1999 (in Russian).
- 36. 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 ustroistv", 2002 (in Russian).
- 37. Dmitriev A. N., Maksimov A. V. Optimizatsiia aviatsionnykh setei obmena dannymi [Optimization of aviation networks data communication]. *Sbornik trudov X nauchno tekhnicheskoi konferentsii "Problemy radiosviazi"* (Proceedings of the Conference Title «Problems of radio communication»), Nizhni Novgorod, Nauchnoproizvodstvennoe predpriiatie "Polet", 1999 (in Russian).
- 38. 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).

- 39. Makarenko S. I., Ryimshin K. Yu., Mixajlov 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).
- 40. Makarenko S. I. Osobennosti raspredeleniia resursov radio seti upravleniia aviatsionnymi kompleksami perekhvata v usloviiakh var'irovaniia intensivnosti informatsionnogo obmena [Features of resource allocation radio network control aircraft interception complexes in terms of the variation of the intensity of data exchange]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "VIII nauchnye chteniia po aviatsii, posviashchennye pamiati N.E. Zhukovskogo"* (Proceedings of the 8nd All-Russian Cientific Conference on Aviation, Dedicated to the Memory of N. E. Zhukovsky). Part 2, Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Pabl., 2007, 118 p. (in Russian).
- 41. Makarenko S. I. Zadacha adaptivnogo upravleniia propusknoi sposobnost'iu kanalov seti vozdushnoi radiosviazi v usloviiakh 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).
- 42. Makarenko S. I. Raschet parametrov algoritma adaptivnogo raspredeleniia propusknoi sposobnosti kanalov navedeniia v seti vozdushnoi radiosviazi. [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).
- 43. 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 Pabl., 2003 (in Russian).
- 44. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Zadachi boevogo upravleniia edinoi sistemy vozdushnoi radiosviazi 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 Pabl., 2003 (in Russian).

- 45. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Funktsional'naia model' protsessa upravleniia aviatsii regiona [Functional model of the process control aviation in the region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100.* Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Pabl., 2003 (in Russian).
- 46. Gimbitskii V. A. Analiz sistemy vozdushnoi radiosviazi 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).
- 47. 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).
- 48. Gimbitskii V. A. Analiz sistemy vozdushnoi radiosviazi v chastiakh dal'nei aviatsii i VTA [Analysis of the air communication system in parts of long-range aviation and military transport aircraft]. Tematicheskii nauchno-tekhnicheskii sbornik filiala Voenno-vozdushnai inzhenernai akademii im. N.E. Zhukovskogo, Stavropol, 2005, no. 26 (in Russian).
- 49. 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).
- 50. 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).
- 51. 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).
- 52. 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. TesisA]. Moscow, Moscow State Technical University of Civil Aviation, 2007, 211 p. (in Russian).

- 53. Kalimulina E. Iu. *Razrabotka i issledovanie analiticheskikh modelei nadezhnosti i ikh primenenie dlia optimizatsii territorial'no-raspredelennykh 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).
- 54. 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).
- 55. Koliadov D. V., Prokhorov A. V. Vliianie iavleniia odnovremennoi peredachi vyzovov na rabotu sistem upravleniia vozdushnym dvizheniem [Effect of Simulteneous Transmissions Phenomenon on Air Traffic Control Systems Functionality]. *Nauchnyi vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoi aviatsii*, 2014, no. 204, pp. 82-87 (in Russian).
- 56. 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).
- 57. 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).
- 58. 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).
- 59. 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, Nauchnoproizvodstvennoe predpriiatie «Polet», 1999 (in Russian).
- 60. 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).

- 61. 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).
- 62. 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).
- 63. 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).
- 64. 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).
- 65. Babusenko S. I., Isaev V. V. Analiticheskaia model' marshrutizatsii v paketnoi radioseti [Analytical model of routing in packet radio networks], *18 Konferenciia "Tekhnika sredstv sviazi"* (Proceedings of the Scientific Conference «Technique of communication»), Voronezh, Scientific Research Institute of Communications, 1992 (in Russian).
- 66. 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 3 Mach 2014) (in Russian).
- 67. Aven O. I., Gurin N. N., Kogan Ia. A. *Otsenka kachestva i optimizatsiia vychislitel'nykh system* [Quality Assessment and Optimization of Computing Systems.] Moscow, Nauka, Glavnaia redaktsiia fiziko-matematicheskoi literatury, 1982.
- 68. 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 predpriiatie "Polet", 1998, 375 p. (in Russian).
- 69. 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).
- 70. 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).

- 71. 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).
- 72. 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).
- 73. Belousov Ye. L., Keystovich A.V., Voytkevich K.L., Bryantsev V. Ph., Sayphetdinov Kh. I. Sovremennoe oborudovanie seti aviatsionnoi elektrosviazi [Modern Equipment of the Aeronautical Network]. *Sistemy i sredstva sviazi, televideniia i radioveshchaniia*, 2012, no. 1-2, pp. 70-73 (in Russian).
- 74. 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).
- 75. 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).
- 76. 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).
- 77. Chen C., Ekici E. A Routing Protocol for Hierarchical LEO/MEO Satellite IP Networks. *Wireless Networks*, 2005, no. 11, pp. 507–521.
- 78. Chen C., Ekici E., Akyildiz I. F. Satellite Grouping and Routing Protocol for LEO/MEO Satellite IP Networks. *Proceedings of the 5th ACM international workshop on Wireless mobile multimedia*. ACM, 2002, pp. 109-116.
- 79. 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.
- 80. 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.
- 81. Tsvetkov K. Y., Akmolov A. F., Efimov S. N., Viktorov E. A., Veremchuk A. S. Kontseptsiia postroeniia raznovysotnoi mnogosputnikovoi sistemy sviazi s mobil'nymi abonentami: algoritm rasshiriaiushchegosia poiska mobil'nykh abonentov [Concept of communication network formation with mobile subscribers based by multitude of satellites on miscellaneous height: the algorithm expanding

search mobile subscribers]. Works of Military-space academy of the name A.F. Mozhasyskiy, 2014, no. 642, pp. 41-48 (in Russian).

- 82. Tsvetkov K. Y., Rodionov A. V., Akmolov A. F., Efimov S. N., Viktorov E.A. Kontseptsiia postroeniia raznovysotnoi mnogosputnikovoi sistemy sviazi s mobil'nymi abonentami: ballisticheskoe postroenie [Concept of communication network formation with mobile subscribers based by multitude of satellites on miscellaneous height: ballistic construction]. *Works of Military-space academy of the name A.F. Mozhasyskiy*, 2012, no. 634, pp. 45-55 (in Russian).
- 83. Tsvetkov K. Y., Rodionov A. V., Akmolov A. F., Efimov S. N., Viktorov E.A. Kontseptsiia postroeniia raznovysotnoi mnogosputnikovoi sistemy sviazi s mobil'nymi abonentami: varianty realizatsii bortovogo kommunikatsionnogo oborudovaniia sputnika-retransliatora [Concept of communication network formation with mobile subscribers based by multitude of satellites on miscellaneous height: options for the implementation of on-Board communication equipment of satellite repeater]. *Works of Military-space academy of the name A.F. Mozhasyskiy*, 2012, no. 635, pp. 5-13 (in Russian).
- 84. Tsvetkov K. Y., Akmolov A. F., Efimov S. N., Viktorov E. A., Veremchuk A. S. Kontseptsiia postroeniia raznovysotnoi mnogosputnikovoi sistemy sviazi s mobil'nymi abonentami: printsipy postroeniia shliuzovykh stantsii i apparatury potrebitelei [Concept of communication network formation with mobile subscribers based by multitude of satellites on miscellaneous height: principles of lock stations and consumers equipment construction]. *Works of Military-space academy of the name A.F. Mozhasyskiy*, 2013, no. 638, pp. 16-24 (in Russian).

## Статья поступила 30 мая 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.

### Model of Satellite Network with S-Aloha Protocol

### Aganesov A. V.

Statement of the problem. The creation of the united aerospace communication networks makes it relevant routing and relaying of messages required with a given quality of service traffic. **Purpose** is development of a model of a satellite network with S-Aloha Protocol witch unites Radio Network. We will investigate the impact of transit traffic on air networks to efficient of bandwidth and time message transmission in satellite communication network. We used S-Aloha **methods** in model of a satellite network. **The element of novelty** of the presented model is given as the loads of the individual air communication

networks. **Practical relevance:** we intend to use presents a model for rationale opportunities for relay of transit connections in air communication networks. These results will be used for mathematical software routers of aerospace communication networks, built by Mesh technology. The OpenFlow protocol can be used for software-defined networks SDN.

**Keywords:** satellite network, relay traffic, routing, satellite network, radio networks, S-Aloha.

#### **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.