

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА В КАНАЛООБРАЗУЮЩЕЙ АППАРАТУРЕ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ. ЧАСТЬ 1. ОБОСНОВАНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

А.А. Ковальский¹

¹Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация
Адрес для переписки: sake636@mail.ru

Информация о статье

УДК 621.396

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Ковальский А.А. Исследование адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации мультисервисного трафика в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи. Часть 1. Обоснование и постановка задачи // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 1. С. 57-65.

Аннотация: Статья посвящена обоснованию актуальности организации адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки. Объектом исследования является земная станция спутниковой связи, предметом исследования – технология мультиплексирования спутниковых радиолиний. Цель исследования состоит в повышении пропускной способности земных станций спутниковой связи за счет адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации трафика в различных условиях помеховой обстановки. Произведена вербальная и математическая постановка задачи исследования.

Ключевые слова: адаптивное мультиплексирование, диспетчеризация мультисервисного трафика, земная станция спутниковой связи.

RESEARCH OF ADAPTIVE MULTIPLEXING AND DISPATCHING OF THE MULTI-SERVICE TRAFFIC IN THE CHANNELING EQUIPMENT OF LAND SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS. PART 1. JUSTIFICATION AND PROBLEM DEFINITION

A.A. Kovalsky¹

¹Military space academy of A.F. Mozhaysky, St. Petersburg, 197198, Russian Federation

Article info

Article in Russian

For citation: Kovalsky A. Research of adaptive multiplexing and schedulings of the multiservice traffic in the channeling equipment terrestrial stations of satellite communication. Part 1. Justification and problem definition // Proceedings of educational institutes of communication. 2017. Vol. 3. Iss. 1. PP. 57-65.

Abstract: Article is devoted to justification of relevance of the organization of adaptive multiplexing and dispatching of a traffic of multi-service networks in the channeling equipment of land satellite communication systems taking into account the changing interfering situation. An object of a research is the land satellite communication systems, an object of research – technology of multiplexing of satellite radio lines. The research objective consists in capacity growth of land satellite communication systems due to adaptive multiplexing and dispatching of a traffic in different conditions of an interfering situation. Verbal and mathematical problem definition of a research is made.

Keywords: adaptive multiplexing, scheduling of a multiservice traffic, terrestrial station of satellite communication.

Важное место в телекоммуникационной инфраструктуре занимают сети спутниковой связи (ССС). Широкое распространение спутниковой связи обусловлено такими уникальными ее свойствами, как высокая гибкость реконфигурации сетей, возможность оперативной организации связи на обширных пространствах и пересеченной местности, независимость стоимости и качества спутниковых каналов от их протяженности. В настоящее время наблюдается значительный рост объемов передаваемых информационных потоков, а также качественное изменение их структуры. Структура трафика современных мультисервисных сетей включает одновременно передаваемые потоки речевой и видеоинформации, изображений и другой информации. Такие информационные потоки предъявляют существенно различающиеся и все более жесткие требования к качеству обслуживания. Однако ограниченность частотно-временного энергетического ресурса (далее – радиоресурса) космических аппаратов связи (КАС), необходимость учета различных режимов эксплуатации земных станций спутниковой связи (ЗССС) не позволяют достигать необходимого качества предоставляемых услуг только за счет экстенсивного наращивания орбитального ресурса и требуют принятия специальных мер для обеспечения заданной пропускной способности ССС.

Высокие требования по устойчивости функционирования телекоммуникационных систем вступают в противоречие с низкой помехоустойчивостью каналов радиосвязи к внешним помеховым воздействиям. Для обеспечения высокой помехоустойчивости современных радиоканалов связи используются сигналы с различными видами модуляции и помехоустойчивого кодирования с переменной скоростью, схемы применения которых адаптируются к сигнально-помеховой обстановке в интересах достижения максимальной битовой скорости передачи в текущих условиях.

При существующей технологии мультиплексирования трафика в ЗССС выделение радиоресурса происходит под пиковые значения интенсивности информационного потока без учета статистических характеристик мультисервис-

ного трафика, что выражается в недоиспользовании радиоресурса при общем его дефиците. Поэтому особую актуальность приобретает задача обеспечения высокой пропускной способности сетей спутниковой связи при передаче мультисервисного трафика за счет учета его статистических характеристик и дифференциации качества обслуживания разнородных абонентов при мультиплексировании спутниковых радиолиний.

Вопросы управления телекоммуникационными ресурсами для повышения качества обслуживания, а также эффективного распределения ограниченного радиоресурса ССС рассматривались в работах целого ряда отечественных и зарубежных ученых. Однако большинство работ в этой области не затрагивает вопросы учета статистических особенностей мультисервисного трафика и приоритетов в обслуживании. При этом важную роль для исследования вопросов повышения пропускной способности ССС приобретает задача мультиплексирования мультисервисного трафика в ЗССС с учетом его статистических свойств и приоритетов в обслуживании при ограниченном радиоресурсе КАС. Основным фактором, осложняющим решение данной задачи, являются разнородность структуры трафика, формируемого мультисервисными приложениями, а также необходимость учета колебаний пропускной способности ЗССС при изменении сигнально-помеховой обстановки.

В состав каналообразующей аппаратуры типовой ЗССС входит модемное оборудование с адаптивными режимами работы и мультиплексор с технологией временного уплотнения каналов (рис. 1). Режимы работы модемного оборудования могут выбираться адаптивно или назначаться директивно в зависимости от текущих условий, что схематично изображено на рис. 2.

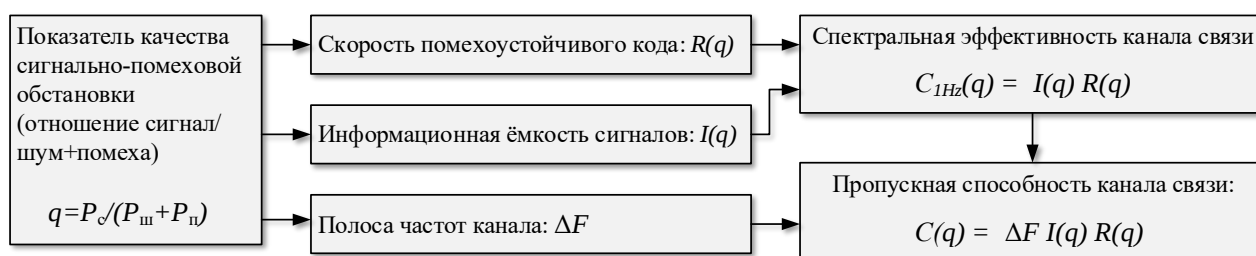


Рисунок 2. Структурная схема расчета зависимости пропускной способности канала спутниковой связи от условий сигнально-помеховой обстановки

К мультиплексору подключены сети доступа, в состав которых входят конечные устройства – источники мультисервисного трафика. Мультиплексор формирует стандартные каналы связи, обеспечивая транспорт для передачи мультисервисного трафика, при этом конкретное число каналов зависит от режима работы модемного оборудования ЗССС.

Анализ руководящих документов в области построения систем связи позволил сформировать список телекоммуникационных служб и классифицировать их по степени важности (см. таблицу).

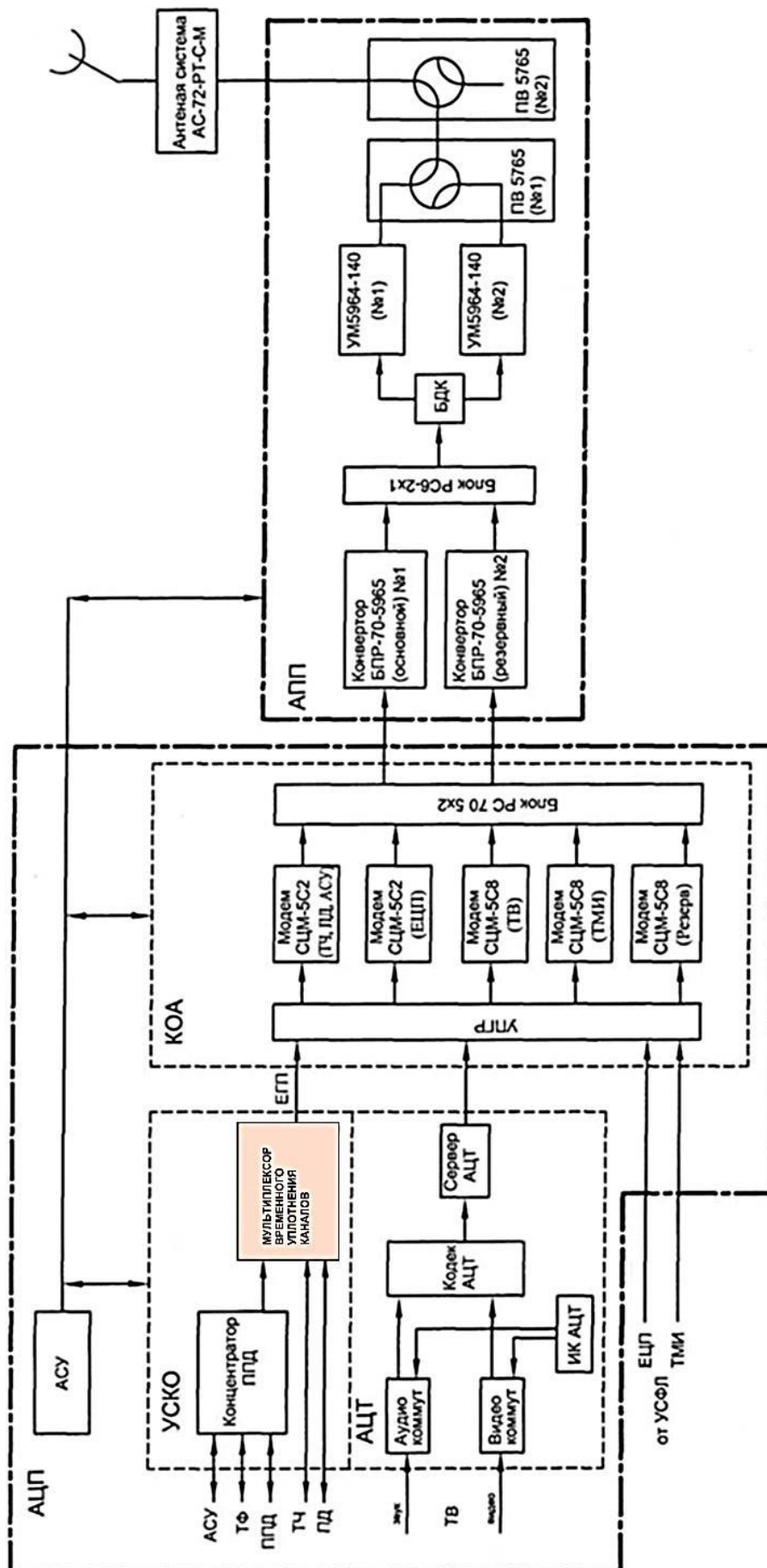


Рисунок 1. Структурная схема типовой ЗССС

Таблица. Классификация телекоммуникационных служб по приоритетам в обслуживании

№ п/п	Решаемая задача	Аудио	Видео	Данные	Реальное время	Приоритет обслуживания
1	Обеспечение телеграфной, фото-телеграфной и факсимильной связи	—	—	X	Низкое	B
2	Обеспечение телефонной связи	X	—	—	Высокое	A1
3	Информационный обмен технологическими данными	—	—	X	Среднее	A3
4	Электронный документооборот	—	—	X	Низкое	B
5	Передача информации в интересах банковских операций	—	—	X	Высокое	A1
6	Передача потоков телевизионного вещания	X	X	—	Высокое	A2
7	Организация каналов видеоконференцсвязи	X	X	X	Высокое	A1
8	Интернет	X	X	X	Низкое	B

В таблице приведены следующие приоритеты обслуживания трафика:

– класс А – трафик с поддержкой качества обслуживания, обслуживаемый с более высоким приоритетом;

– класс В – трафик без поддержки качества обслуживания, обслуживаемый с более низким приоритетом.

В пределах класса А дополнительно трафик делится на три подкласса:

– подкласс А1 – трафик с самым высоким приоритетом;

– подкласс А2 – трафик с переменной скоростью передачи и поддержкой передачи в реальном времени;

– подкласс А3 – трафик с минимальными гарантиями качества обслуживания, но с более высоким приоритетом, чем для трафика класса В.

Соотношения объемов передаваемого трафика телекоммуникационных служб разных приоритетов в различных условиях (например, времени суток) представлены на рис. 3.

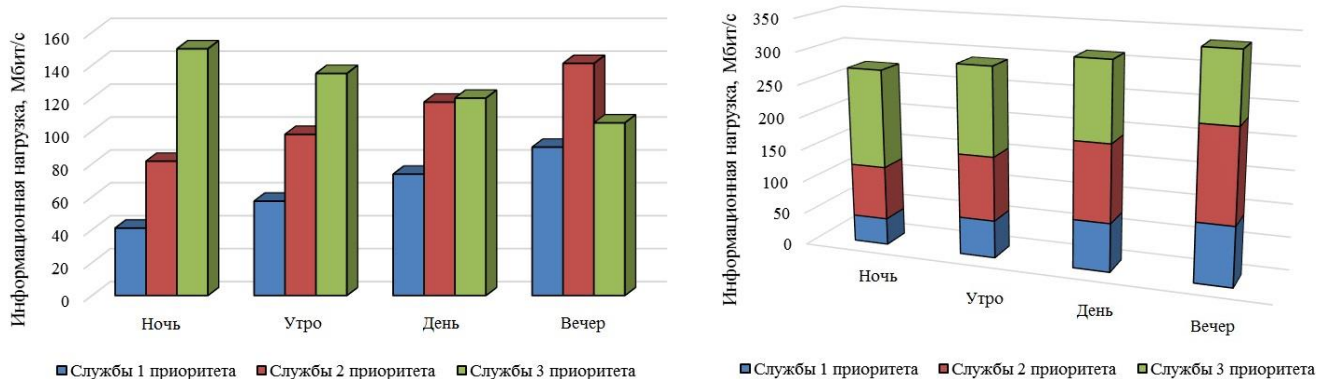


Рисунок 3. Гистограммы распределения информационной нагрузки служб заданных приоритетов в различных условиях

Анализ технических характеристик каналаобразующей аппаратуры типовых ЗССС позволил определить зависимость изменения пропускной способности типовой ЗССС от применения различных конфигураций модемного оборудования в различных режимах работы, что иллюстрирует график на рис. 4. Анализ данного графика показывает, что использование помехозащищенных режимов работы модемного оборудования приведет к снижению пропускной способности ЗССС в среднем в 3-4 раза, что составит примерно 25-35% от максимальной. С другой стороны, информационная нагрузка приоритетных служб и абонентов будет возрастать. Обеспечение функционирования ССС в сложившейся сигнально-помеховой обстановке приведет к необходимости частичного отключения каналов спутниковой связи в соответствии с их классами важности.

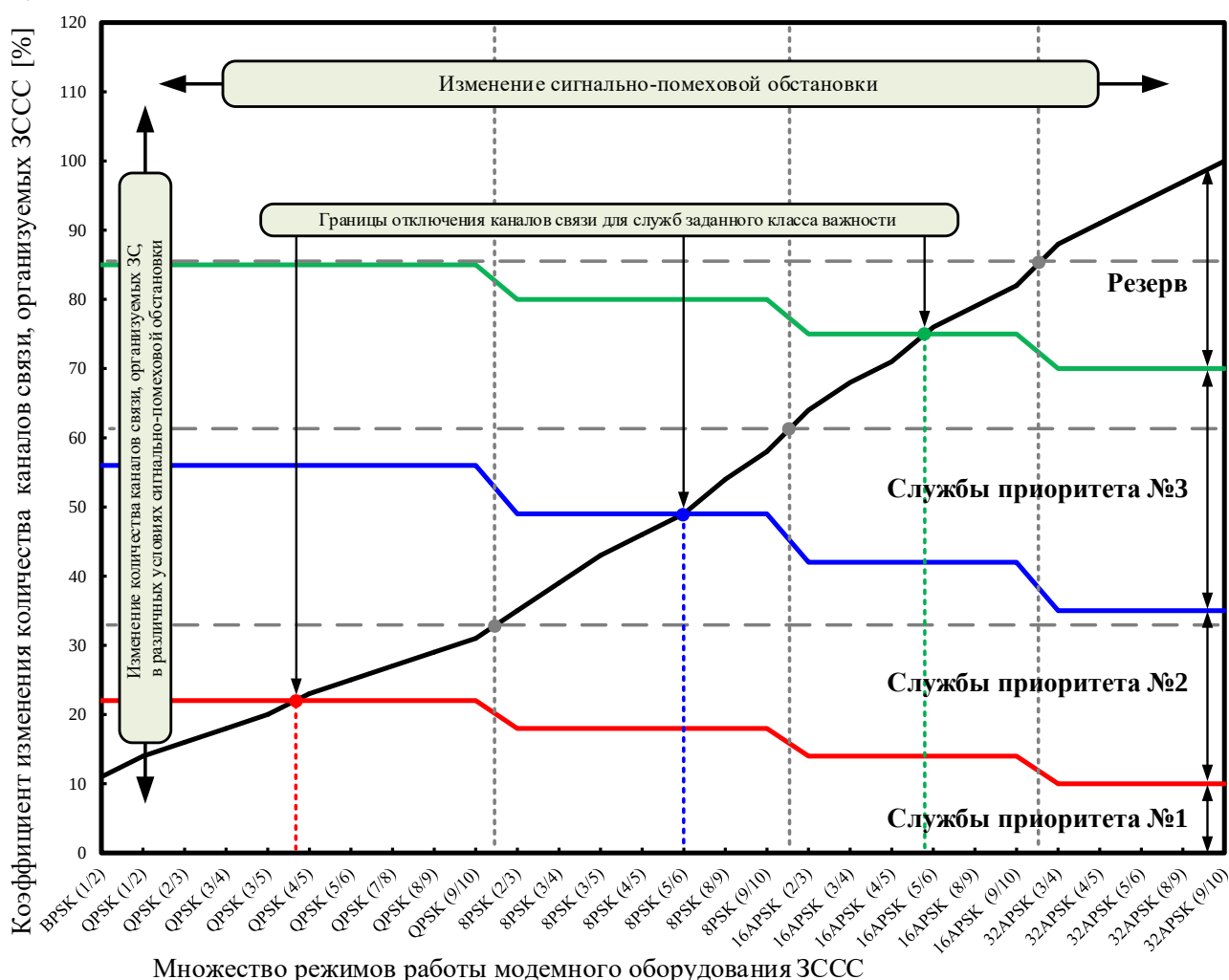


Рисунок 4. График изменения количества каналов связи, организуемых ЗССС при изменении сигнально-помеховой обстановки

Анализ статистических свойств мультисервисного трафика ССС позволил сделать вывод, что загрузка каналов спутниковой связи не превышает в среднем 40%. Данный факт, в первую очередь, связан со спецификой работы телекоммуникационных служб (клиент-серверных приложений, IP-телефонии и

других видов диалогового трафика). Наличие длительных временных пауз при использовании каналов различными приложениями позволяет организовать дополнительные каналы (рис. 5), однако при этом не должно ухудшаться качество передачи информации, особенно приоритетных источников.

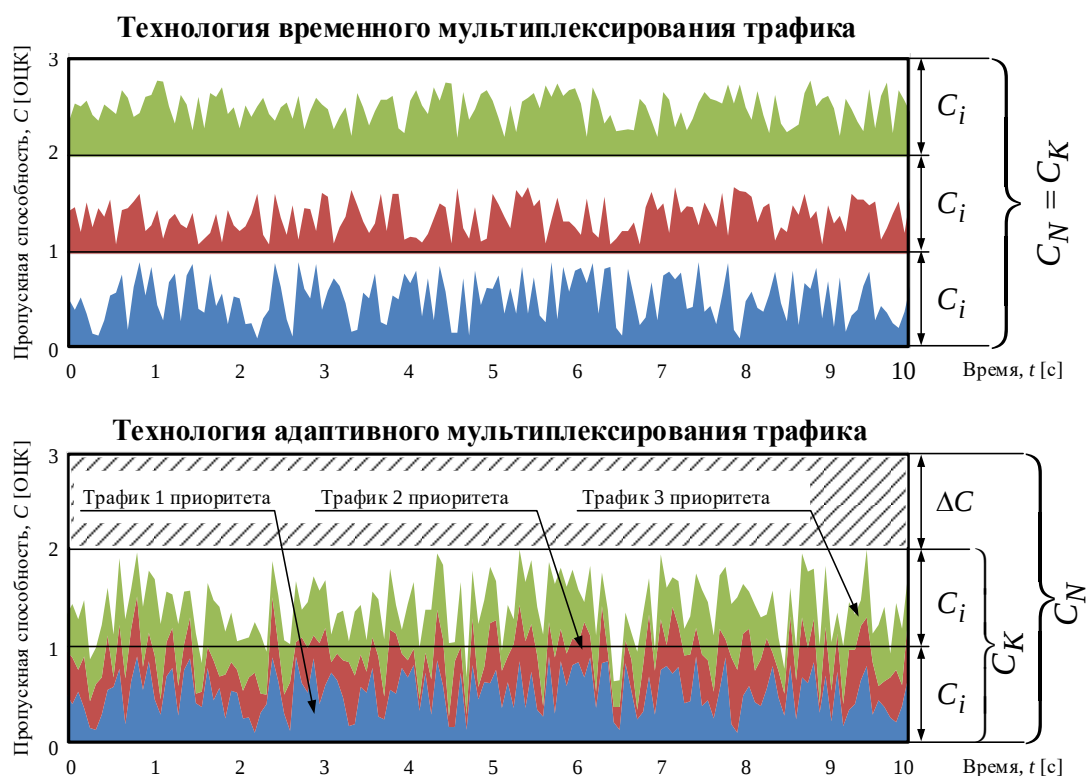


Рис. 5. Сравнение пропускной способности ЗССС при различных технологиях мультиплексирования трафика

Таким образом, возникает противоречие, заключающееся в наличии пауз отдельных источников, которые можно использовать как резерв для организации дополнительных каналов, путем адаптивного мультиплексирования, и необходимостью обеспечению требований по качеству обслуживания приоритетных абонентов, с другой стороны. Разрешение данного противоречия требует построения особого класса моделей, которые с одной стороны способны учитывать статистические свойства трафика, его разнородность и нестационарность, а с другой стороны, обеспечить требуемое качество обслуживания приоритетных источников. Следует отметить, что существующие методы мультиплексирования мультисервисного трафика в ЗССС не позволяют учесть его статистические характеристики и приоритетность в обслуживании.

В качестве целевого показателя для оценки прироста пропускной способности ЗССС примем коэффициент мультиплексирования каналов связи, организуемых мультиплексором, который показывает отношение числа формируемых логических (виртуальных) каналов связи к числу стандартных физических ка-

налов мультиплексора ЗССС. Данный показатель позволил сформулировать математическую постановку задачи исследования, которая заключается в максимизации целевого показателя, путем разработки соответствующих моделей и алгоритмов при ограничениях по качеству обслуживания трафика:

$$\rho = \frac{C_N}{C_K} = \frac{N}{K} \rightarrow \max_{\{M_{AM}, A_{ДП}\}} \left| \begin{array}{l} P_{\Pi} \leq P_{\text{треб}}; \\ T_3 \leq T_{\text{треб}} \end{array} \right., \quad (1)$$

где C_K – суммарная пропускная способность физических каналов связи;

$C_N = \sum_{i=1}^N C_i$; $C_K = \sum_{i=1}^K C_i$; C_i – пропускная способность i -го канала связи;

$\Delta C = C_N - C_K = N - K$ – выигрыш пропускной способности;

N – число стандартных виртуальных каналов связи;

K – емкость канальной группы мультиплексора;

M_{AM} – модели адаптивного мультиплексирования мультисервисного трафика;

$A_{ДП}$ – алгоритмы диспетчеризации мультисервисного трафика;

P_{Π} – вероятность потери пакета при адаптивном мультиплексировании;

$P_{\text{треб}}$ – требуемая вероятность потери пакета согласно классу обслуживания;

T_3 – среднее время задержки пакета при адаптивном мультиплексировании;

$T_{\text{треб}}$ – требуемое время задержки пакета согласно классу обслуживания.

Таким образом, цель и постановка задачи исследования адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации мультисервисного трафика в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи сформированы. В следующих частях статьи будут рассмотрены модели адаптивного мультиплексирования и алгоритмы диспетчеризации мультисервисного трафика (*продолжение следует*).

Список используемых источников

1. Михайлов Р.Л., Макаренко С.И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на неё дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4. С. 69–79.
2. Макаренко С.И. Методика оценки времени задержки пакета в канале связи в условиях нестабильности входного трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2007. Т. 5. № 3. С. 95–96.
3. Макаренко С.И., Сидорчук В.П., Краснокутский А.В. Методика оценки времени задержки пакета в сети воздушной радио связи в условиях нестабильности входного трафика // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 6. С. 70.
4. Кихтенко А.В., Макаренко С.И. Методика оценки времени задержки пакета в спутниковой сети связи в условиях нестабильности входного трафика // Системы управления и информационные технологии. 2007. Т. 27. № 1.3. С. 344–348.

-
5. Макаренко С.И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.
 6. Макаренко С.И. Информационное оружие в технической сфере: терминология, классификация, примеры // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 3. С. 292-376.
 7. Макаренко С.И., Коровин В.М., Ушанев К.В. Оператор преобразования трафика для преднамеренного повышения структурной сложности информационных потоков // Системы управления, связи и безопасности. 2016. № 4. С. 77-109.
 8. Макаренко С.И. Динамическая модель системы связи в условиях функционально-разнородного информационного конфликта наблюдения и подавления // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 3. С. 122-185.
 9. 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.
 10. Макаренко С.И. Преднамеренное формирование информационного потока сложной структуры за счет внедрения в систему связи дополнительного имитационного трафика // Вопросы кибербезопасности. 2014. № 3(4). С. 7-13.
 11. 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. С. 2.
 12. Цветков К.Ю., Осташов И.Т., Косяков Е.Н. Радиорелейные и спутниковые системы передачи информации специального назначения: учебник. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. 2013. 319 с.
 13. Зиннуров С.Х., Ковальский А.А., Кузичкин А.В. Динамическое распределение радиоресурса ретранслятора с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении // Известия института инженерной физики. 2014. Т. 4. № 34. С.51-56.
 14. Кузичкин А.В., Ковальский А.А., Зиннуров С.Х. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Инженерная физика. 2015. № 6. С. 49-57.