

# ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА В КАНАЛООБРАЗУЮЩЕЙ АППАРАТУРЕ ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ. ЧАСТЬ 3. АЛГОРИТМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ

А.А. Ковальский<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Военно-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 3. Алгоритмы диспетчеризации // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 3. С. 78–85.

**Аннотация:** *Статья посвящена вопросу организации адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки. Разработаны алгоритмы диспетчеризации мультисервисного трафика с учетом приоритетов в обслуживании и нестационарности входящих информационных потоков. Проведено исследование зависимостей увеличения пропускной способности земных станций спутниковой связи от применения технологии статистического уплотнения и изменения параметров качества обслуживания разнородного трафика. Предложены рекомендации по модернизации каналообразующей аппаратуры земных станций спутниковой связи, а также разработан макет ее специального программно-математического обеспечения.*

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

Для решения задачи организации адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации мультисервисного трафика в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи (ЗССС) [1–3], а также управления параметрами качества обслуживания трафика [4, 5], предложен алгоритм диспетчеризации потоков мультисервисного трафика при адаптивном мультиплексировании (см. рисунок 1), который отличается от известных наличием механизма динамического назначения приоритетов при обслуживании мультисервисного трафика [6]. Схема работы алгоритма состоит из нескольких этапов.

Этап 1. Сбор статистических данных о параметрах входных потоков, ранжирование пакетов трафика согласно приоритету в обслуживании и направлении их в буфер адаптивного мультиплексора (блоки алгоритма 4, 5, 7, 11 на рисунке 1).

Этап 2. Производится проверка наличия свободного канального ресурса и ячеек памяти буфера адаптивного мультиплексора. Если в буфере мультиплексора имеются пакеты трафика низкого приоритета, то при его переполнении происходит сброс пакета и помещение на обслуживание в буфер пакетов с более высоким приоритетом (блоки алгоритма 12, 13, 14, 16, 18, 19 на рисунке 1).

Этап 3. Если в буфере мультиплексора нет пакетов низкого приоритета, то происходит отказ в обслуживании пакетов высшего приоритета, коррекция показателей качества обслуживания, пересчет ВВХ модели адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей с учетом приоритетов в обслуживании и перераспределение приоритетов в обслуживании до тех пор, пока необходимое качество не будет достигнуто (блоки алгоритма 3, 6, 8, 15, 17, 20 на рисунке 1).

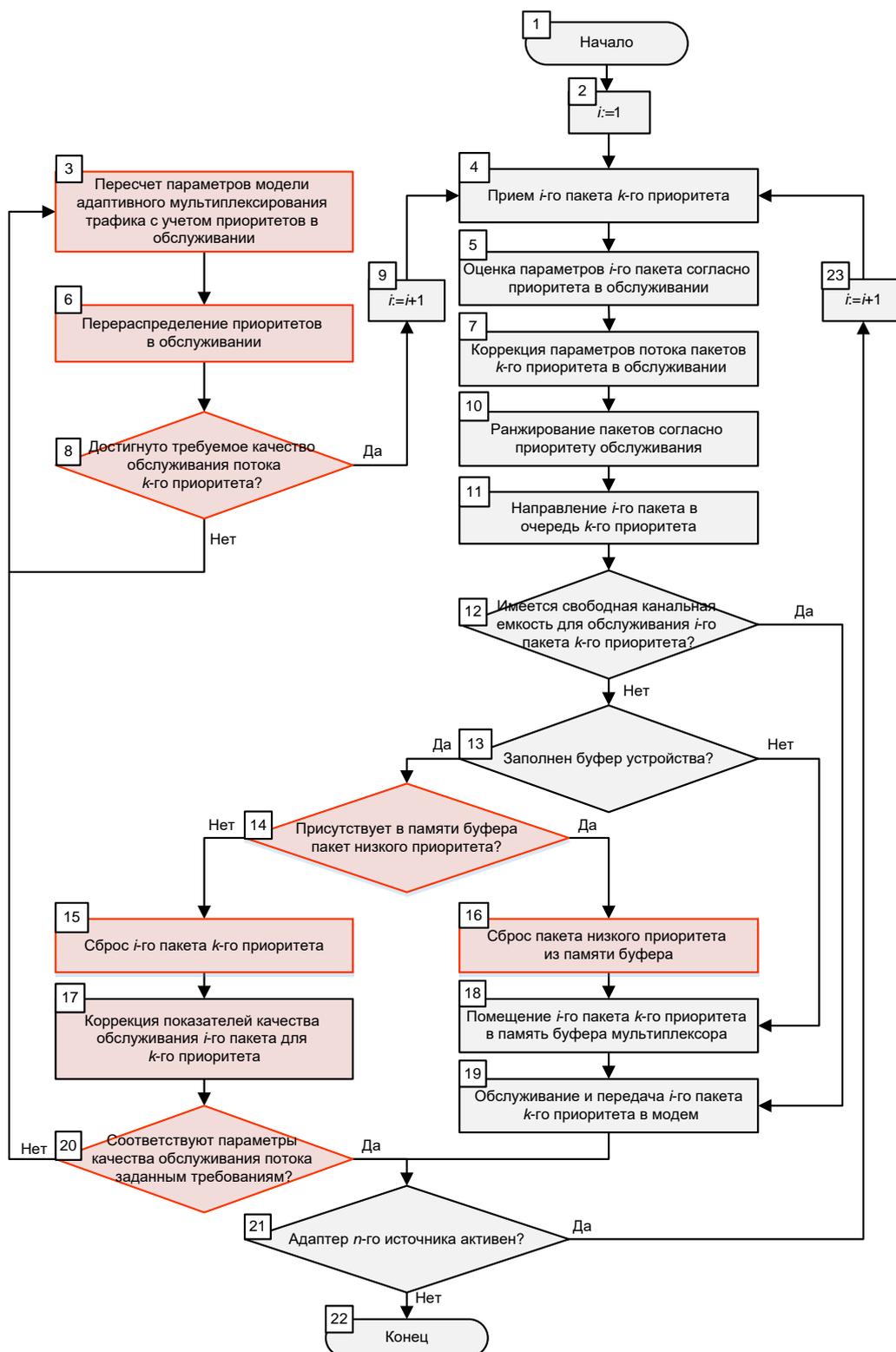


Рис. 1. Алгоритм диспетчеризации потоков мультисервисного трафика при адаптивном мультиплексировании с учетом приоритетов в обслуживании

В зависимости от складывающейся помеховой обстановки, в работе предложен альтернативный (более сложный и ресурсоемкий) алгоритм оперативного управления мультисервисного трафика при адаптивном мультиплексировании, представленный на рисунке 2. Данный алгоритм в ком-

плексе учитывает приоритетность, нестационарность, разнородность входящего мультисервисного трафика и применение в КОА ЗССС различных режимов работы модемного оборудования, в результате чего происходит изменение пропускной способности спутниковой радиолинии.

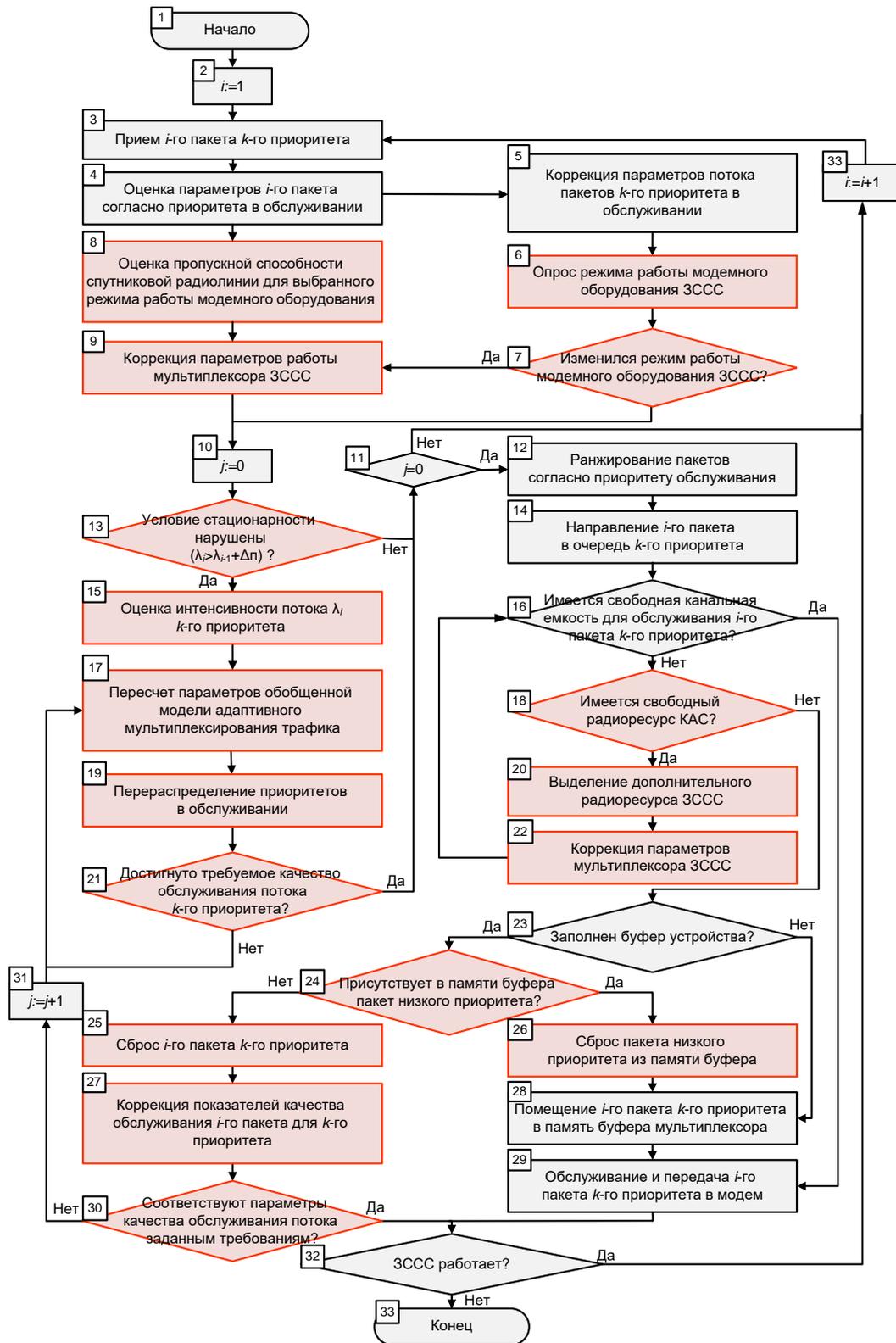


Рис. 2. Алгоритм диспетчеризации потоков мультисервисного, нестационарного трафика с учетом изменения пропускной способности каналов спутниковой связи

Схема работы данного алгоритма предполагает несколько этапов.

Этап 1. Сбор статистических данных о параметрах входных потоков, опрос текущей конфигурации модемного оборудования с последующей коррек-

цией режима работы мультиплексора для учета изменения пропускной способности спутниковой радиолинии (блоки алгоритма 3–9 на рисунке 2).

Этап 2. Проведение оценки ВВХ трафика, включая проверку на нестационарность. Если интен-

сивность потока не выходит за пределы допустимого, то происходит ранжирование пакетов трафика согласно приоритету в обслуживании и направлении их в буфер адаптивного мультиплексора (блоки алгоритма 12–14 на рисунке 2).

Этап 3. Производится проверка наличия свободного канального ресурса и ячеек памяти буфера адаптивного мультиплексора. Если канального ресурса мультиплексора нет и его буфер переполнен, то выполняется запрос о выделении дополнительного радиоресурса ЗССС, с последующей коррекцией параметров режима работы адаптивного мультиплексора. Если в буфере мультиплексора имеются пакеты трафика низкого приоритета, то при его переполнении происходит сброс пакета и помещение на обслуживание в буфер пакетов с более высоким приоритетом (блоки алгоритма 16, 18, 20, 22–24, 28, 29 на рисунке 2).

Этап 4. В случае изменения интенсивности потока и выхода за пределы допустимого или если в буфере мультиплексора нет пакетов трафика низкого приоритета, то происходит отказ в обслуживании пакетов высшего приоритета, коррекция показателей качества обслуживания, пересчет ВВХ обобщенной модели адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей и перераспределение приоритетов в обслуживании до тех пор, пока необходимое качество обслуживания не будет достигнуто (блоки алгоритма 15, 17, 19, 21, 25, 27, 30 на рисунке 2).

Для оценки изменения параметров трафика при адаптивном мультиплексировании проведено исследование зависимостей, которые изображены на рисунках 3 и 4. Расчеты проводились в пакете программ математического моделирования MathLab. В качестве исходных данных для моделирования использовались 3 вида трафика [7, 8]:

- IP-телефонии, с использованием GSM-кодека;
- видеопотока с применением MPEG-2 кодека;
- IP-трафика передачи данных.

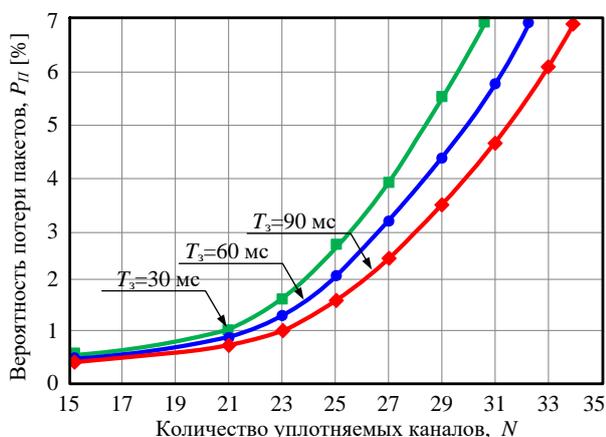


Рис. 3. Зависимость вероятности потери пакетов от количества источников трафика для различных значений допустимой задержки

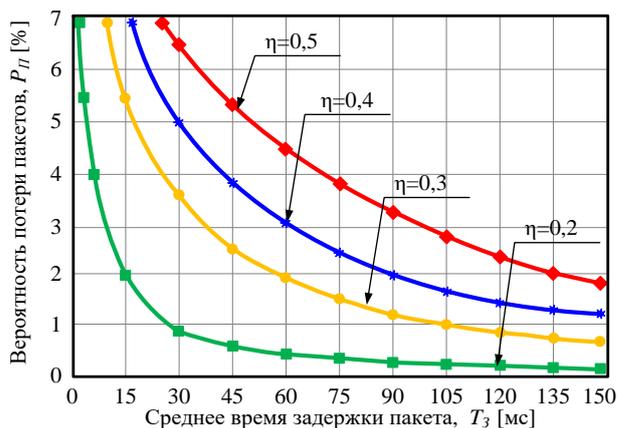


Рис. 4. Зависимость вероятности потери пакетов от задержки при различной активности источников трафика

Исходные данные для моделирования приведены в таблицах 1 и 2, где использованы следующие условные обозначения:

- $\eta$  – коэффициент активности источника трафика;
- $\tau_a$  – среднее время активности абонента;
- $\tau_b$  – среднее время «молчания» абонента;
- $\tau_k$  – среднее время кодирования;
- $K$  – канальная емкость мультиплексора;
- $\rho$  – коэффициент мультиплексирования каналов;
- $N$  – количество уплотняемых каналов;
- $P_n$  – вероятность потери пакетов;
- $T_3$  – среднее время задержки пакета;
- $V_n$  – размер пакета;
- $C_k$  – пропускная способность физических каналов.

ТАБЛИЦА 1. Исходные данные (см. рисунки 3–6)

Рис.	$\eta$	$\tau_a$ , с	$\tau_b$ , с	$\tau_k$ , мс	$K$	$\rho$	$N$	$P_n$ , %	$T_3$ , мс	$V_n$ , бит	$C_k$ , кбит/с
3	0,4	1,2	1,8	30	15	–	–	–	–	480	64
4	–	–	–	30	15	2	30	–	–	480	64
5	–	–	–	30	–	–	–	3	60	480	64
6	0,4	1,2	1,8	30	–	–	–	–	–	480	64

ТАБЛИЦА 2. Требования к качеству обслуживания (см. рисунок 6)

$\rho$	$P_n$ , %	$T_3$ , мс	$\rho$	$P_n$ , %	$T_3$ , мс	$\rho$	$P_n$ , %	$T_3$ , мс
$\rho_1$	1	30	$\rho_4$	3	30	$\rho_7$	5	30
$\rho_2$	1	60	$\rho_5$	3	60	$\rho_8$	5	60
$\rho_3$	1	90	$\rho_6$	3	90	$\rho_9$	5	90

Анализ зависимостей на рисунке 3 показал, что вероятность потери пакетов при адаптивном мультиплексировании мультисервисного трафика возрастает при увеличении количества организованных виртуальных каналов связи и уменьшается при увеличении времени задержки при обслуживании пакетов. Вероятность потери пакетов и задержка сообщений увеличиваются при повышении коэффициента активности источника трафика (см. рисунок 4).

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что организация адаптивного мультиплексирования потребует нахождения оптимальных значений количества виртуальных каналов, емкости буфера для заданных значений пропускной способности спутниковой радиолинии и требований, предъявляемым к качеству обслуживания трафика [9]. Для оценки эффективности применения разработанных моделей и алгоритмов проведено исследование зависимостей изменения коэффициента мультиплексирования  $\rho$  от различных параметров мультиплексирования и свойств источников трафика (см. рисунки 5 и 6).

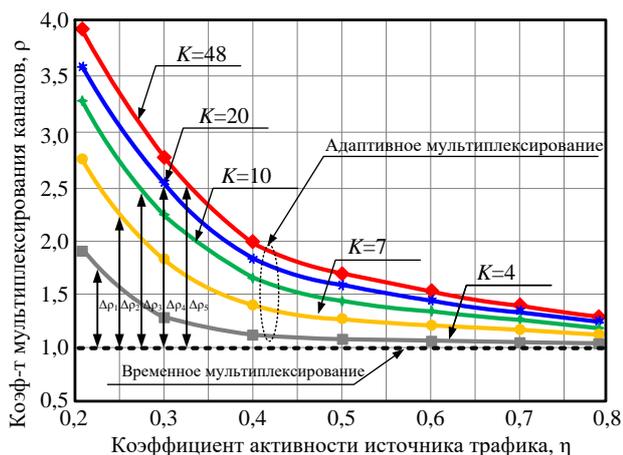


Рис. 5. Зависимость коэффициента мультиплексирования от активности источников трафика при изменении канальной емкости мультиплексора

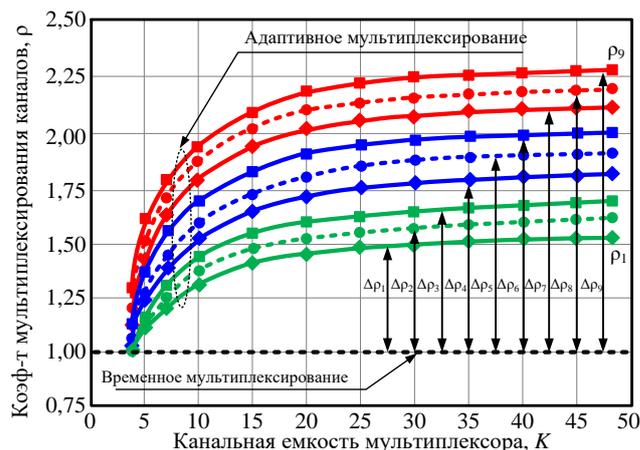


Рис. 6. Зависимость коэффициента мультиплексирования от канальной емкости мультиплексора при различных требованиях к качеству обслуживания

Коэффициент мультиплексирования каналов связи организуемых мультиплексором ЗССС повышается с ростом его канальной емкости и понижением активности источников трафика. Чем выше требования к качеству обслуживания, тем меньше коэффициент мультиплексирования.

Обобщая полученные зависимости, можно оценить достигаемый выигрыш в числе каналов, организуемых ЗССС на основе предложенной технологии адаптивного мультиплексирования [10] по сравнению с традиционной технологией мультиплексирования в различных условиях сигнально-помеховой обстановки (см. рисунок 7).

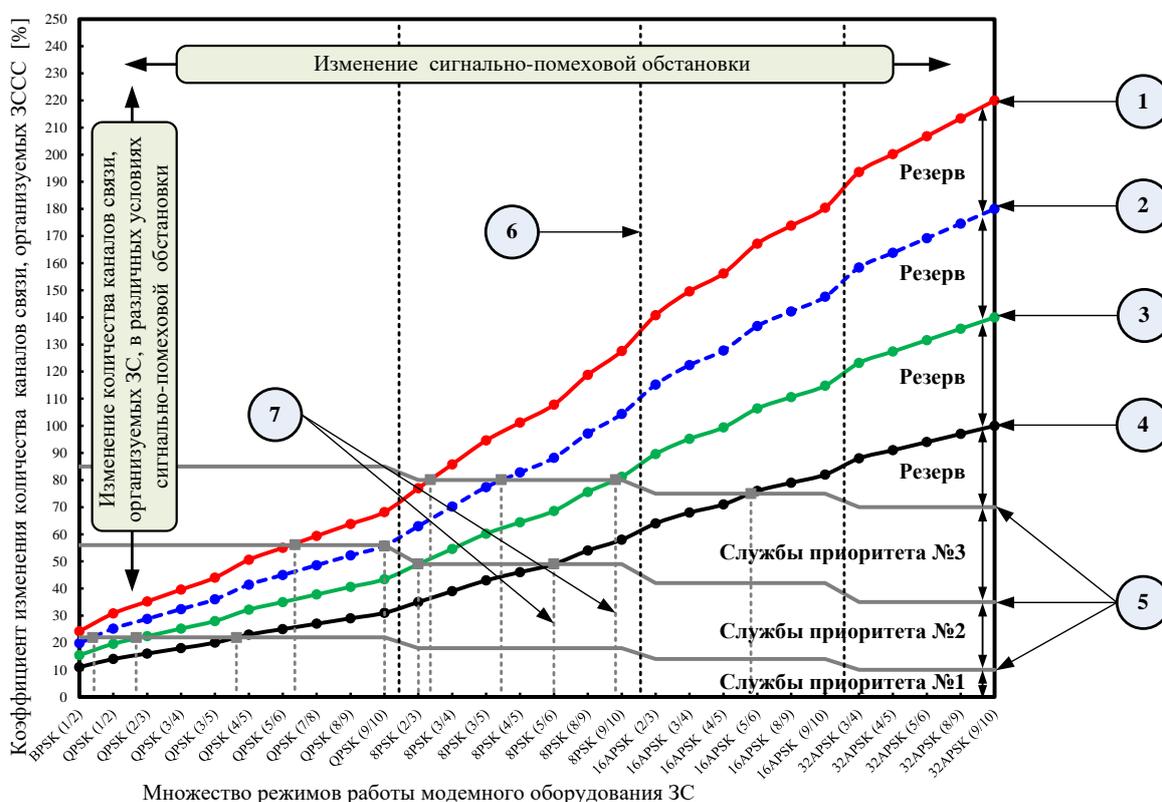


Рис. 7. График изменения количества каналов связи, организуемых ЗССС в различных условиях сигнально-помеховой обстановки

Для линий на рисунке 7 использованы следующие обозначения: 1 – адаптивное мультиплексирование при минимальных требованиях к качеству обслуживания; 2 – ...при усредненных требованиях... ; 3 – ...при максимальных требованиях... ; 4 – временное мультиплексирование при статическом закреплении каналов связи; 5 – количество организуемых каналов, необходимое для обеспечения служб заданного приоритета; 6 – граница изменения сигнально-помеховой обстановки; 7 – режим работы ЗССС, необходимый для обеспечения каналами связи служб заданного приоритета.

На основе полученных моделей и алгоритмов сформированы рекомендации по совершенствова-

нию специального программно-математического обеспечения (СПМО) мультиплексора ЗССС, которые позволяют оперативно управлять назначением приоритетов при диспетчеризации мультисервисного трафика и существенно повысить пропускную способность ЗССС. На основе СПМО мультиплексора реализован механизм диспетчеризации мультисервисного трафика ЗССС (см рисунок 8), который предназначен для организации управления трафиком, поступающим от различных абонентов, контроля за выполнением требований к качеству обслуживания для заданного вида трафика и наличием канального ресурса мультиплексора.

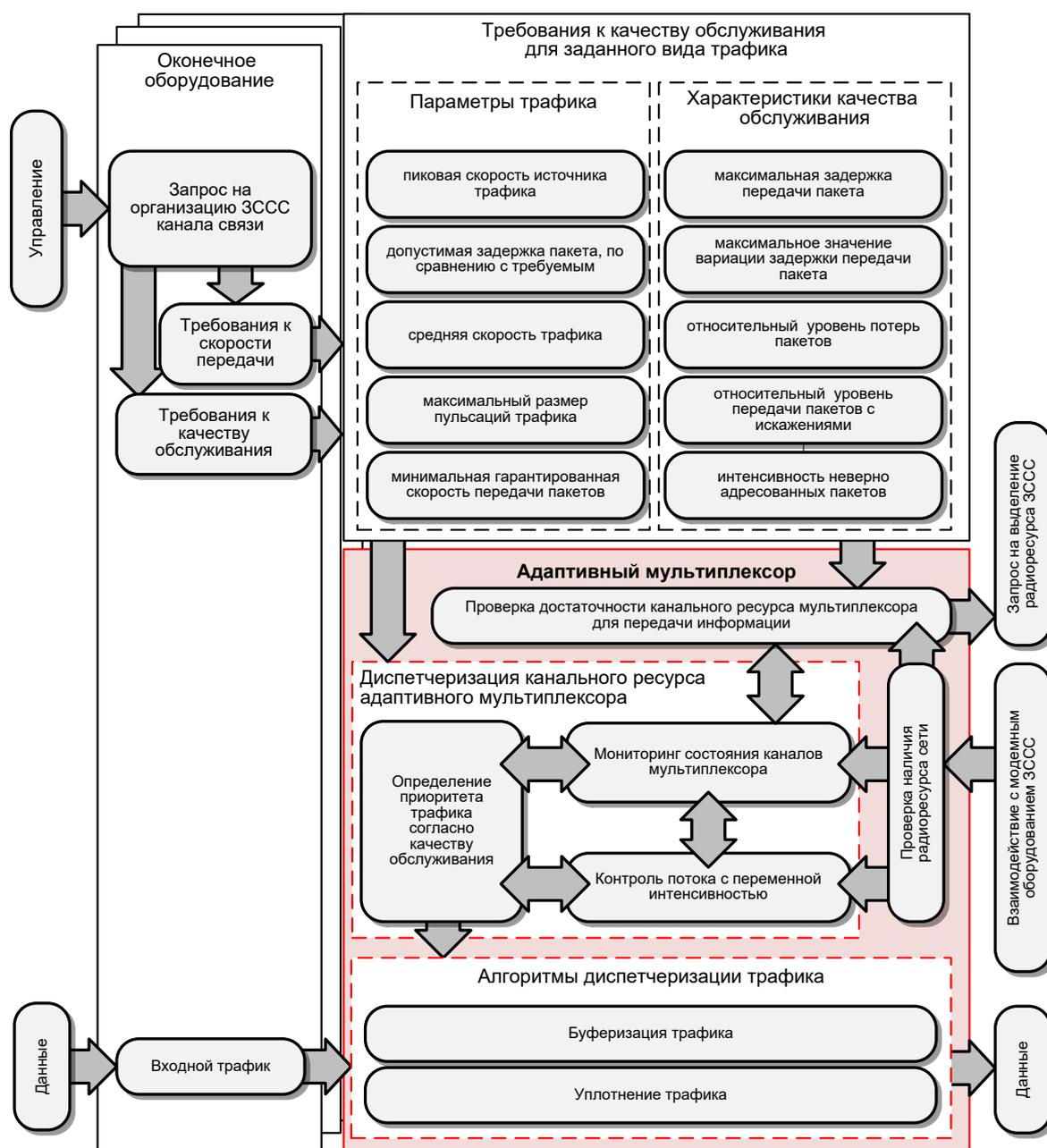


Рис. 8. Механизм диспетчеризации мультисервисного трафика реализуемого в СПМО адаптивного мультиплексора ЗССС

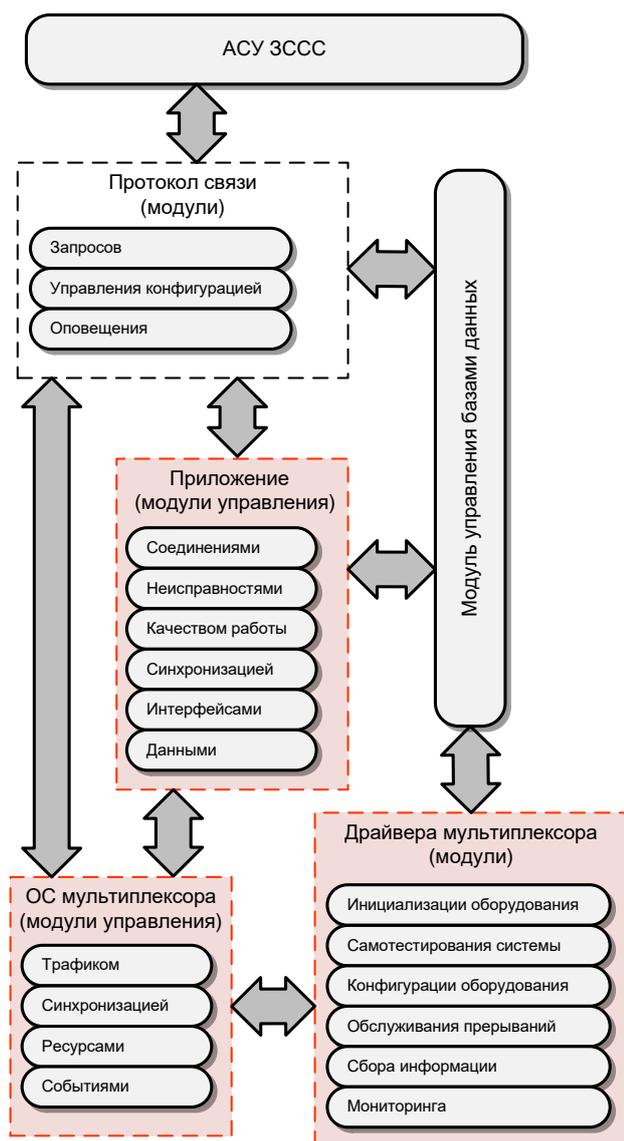


Рис. 9. Макет СПМО адаптивного мультиплексора ЗССС

В рамках проводимых исследований разработан макет СПМО мультиплексора, которое должно быть интегрировано в состав автоматизированной системы управления ЗССС (рисунок 9). Модульная структура СПМО мультиплексора должна состоять из операционной системы мультиплексора с поддержкой приоритетного многозадачного планирования в масштабах реального времени, драйверов оборудования и клиентского приложения для управления мультиплексором и диспетчеризации трафика.

Анализ основных свойств разработанных алгоритмов, в частности вычислительной сложности, показал целесообразность применения данных алгоритмов в составе СПМО нового парка ЗССС [11]. Для парка ЗССС предыдущих поколений, рекомендовано произвести модернизацию оборудования мультиплексора. Основные рассматриваемые пути модернизации – повышение производительности центрального процессора и емкости оперативной памяти мультиплексора ЗССС. Величина повышения будет зависеть от технических характеристик каналообразующей аппаратуры ЗССС.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование технологии адаптивного мультиплексирования в сочетании с механизмом динамического назначения приоритетов в обслуживании мультисервисного трафика позволяют заметно увеличить число уплотняемых каналов связи по сравнению с традиционной технологией мультиплексирования, что соответствует повышению пропускной способности ЗССС. При этом стоит отметить, что повышение пропускной способности будет зависеть от требований, предъявляемых к качеству обслуживания, структуры передаваемого трафика, а также выбора режима работы модемного оборудования. Так, при наиболее жестких требованиях к качеству обслуживания выигрыш составит до 40 %, без требований (предельно достижимые значения) до 120 %, что в среднем составляет порядка 80 %.

#### Список используемых источников

1. 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.
2. Ковальский А.А. Исследование адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации мультисервисного трафика в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи. Часть 2. Модели адаптивного мультиплексирования трафика // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. № 2. С. 84–92.
3. Ковальский А.А. Модели адаптивного мультиплексирования и алгоритмы диспетчеризации мультисервисного трафика земных станций спутниковой связи в условиях изменяющейся помеховой обстановки // Труды МАИ. 2016. Вып. 90. С. 20.
4. 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. Вып. 6. С. 49–57.
5. 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.
6. Топорков И.С., Ковальский А.А., Зиннуров С.Х. Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании мультисервисного нестационарного трафика // Известия института инженерной физики. 2016. Т. 1. № 39. С. 37–47.

7. Adas A. Traffic Models in Broadband Networks // IEEE Communication Magazine. 1997. Vol. 35. Iss. 7. PP. 82–89.
8. Muscariello L., Mellia L., Meo M., Ajmone M., Marsan, Cigno R. Lo. Markov Models of Internet Traffic and a New Hierarchical MMPP Model // Computer Communications. 2005. Vol. 28(16). PP. 1835–1851.
9. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение. 1979, 432 с.
10. Худяков Г.И. Пропускная способность цифровых каналов электросвязи с квадратурной амплитудной модуляцией // Электросвязь. 2010. № 6. С. 38–40.
11. 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.

\* \* \*

## RESEARCH OF ADAPTIVE MULTIPLEXING AND SCHEDULINGS OF THE MULTISERVICE TRAFFIC IN THE CHANNELING EQUIPMENT OF TERRESTRIAL STATIONS OF SATELLITE COMMUNICATION. PART 3. SCHEDULING ALGORITHMS

A. Kovalsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Military 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 Scheduling of the Multiservice Traffic in the Channeling Equipment of Terrestrial Stations of Satellite Communication. Part 3. Scheduling Algorithms // Proceedings of Telecommunication Universities. 2017. Vol. 3. Iss. 3. PP. 78–85.

**Abstract:** *Article is devoted to a question of the organization of adaptive multiplexing and scheduling of traffic of multiservice networks in the channeling equipment of terrestrial stations of satellite communication taking into account the changing interfering situation. Algorithms of scheduling of a multiservice traffic taking into account priorities in service and not stationarity of the incoming information flows are developed. The research of dependences of increase in bandwidth of terrestrial stations of satellite communication on use of technology of statistical consolidation and change of parameters of service quality of a diverse traffic is conducted. Recommendations about upgrade of the channeling equipment of terrestrial stations of satellite communication are offered, and also the model of special program software of the channeling equipment of terrestrial stations of satellite communication is developed.*

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