

Модели статистического уплотнения и алгоритмы диспетчеризации разнородного трафика земных станций спутниковой связи в условиях изменяющейся помеховой обстановки

Ковальский А.А.

*Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,
ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198, Россия
e-mail: sake636@mail.ru*

Аннотация

Научная работа посвящена организации статистического уплотнения разнородного трафика в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи (ЗССС) в условиях изменяющейся помеховой обстановки. Объектом исследования является земная станция спутниковой связи. Предметом исследования является технология уплотнения спутниковых радиолиний при передаче мультисервисного трафика в земных станциях.

Целью исследований состоит в повышении пропускной способности земных станций спутниковой связи за счет статистического уплотнения мультисервисного трафика в различных условиях помеховой обстановки.

Разработаны модели статистического уплотнения и алгоритмы диспетчеризации разнородного трафика с учетом приоритетов в обслуживании и нестационарности входящих информационных потоков на основе марковски модулируемых пуассоновских процессов. Проведено исследование зависимостей увеличения пропускной способности ЗССС от применения технологии статистического

уплотнения и изменения параметров качества обслуживания разнородного трафика. Предложены рекомендации по модернизации каналообразующей аппаратуры ЗССС, а также разработан макет специального программно-математического обеспечения каналообразующей аппаратуры ЗССС.

Ключевые слова: статистическое уплотнение, диспетчеризация трафика, земная станция спутниковой связи.

Введение

Важное место в телекоммуникационной инфраструктуре государства и Вооруженных сил (ВС) Российской Федерации (РФ) занимают системы 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. Возросшая динамика ведения вооруженной борьбы в современных условиях предъявляет повышенные требования к оперативности управления войсками и оружием. Единственным средством обеспечения заданных требований в сложных условиях, особенно, на необорудованных театрах военных действий является применение военных сетей спутниковой связи (ВССС). При этом возрастающий уровень автоматизации управления войсками и оружием приводит к значительному росту объемов передаваемых информационных потоков, а также качественному изменению их структуры. Структура трафика современных мультисервисных сетей включает одновременно передаваемые потоки речевой и видеоинформации,

изображения и т.п. 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 только за счет экстенсивного наращивания орбитального ресурса и требуют принятия специальных мер для обеспечения заданной пропускной способности ВССС в любых условиях помеховой обстановки.

Возрастающие объемы передаваемой информации при высоких требованиях к оперативности ее доставки в системах управления войсками и оружием, с одной стороны, и ограниченность радиоресурса КАС, с другой стороны, определяют наличие противоречия, заключающегося в невозможности удовлетворить перспективные требования по объемам информации и качеству обслуживания абонентов ВССС при передаче мультисервисного трафика в условиях динамично изменяющейся обстановке.

При существующей технологии уплотнения трафика в ЗССС выделение радиоресурса происходит под пиковые значения интенсивности информационного потока без учета статистических характеристик мультисервисного трафика, что выражается в недоиспользовании радиоресурса при общем его дефиците. Поэтому особую актуальность приобретает задача обеспечения высокой пропускной способности военных сетей спутниковой связи при передаче мультисервисного трафика за счет учета его статистических характеристик и дифференциации качества обслуживания разнородных абонентов при уплотнении спутниковых радиолиний.

Постановка задачи

Для управления войсками и оружием в ВС РФ организуют ВССС. В состав каналообразующей аппаратуры ЗССС входит модемное оборудование с адаптивными режимами модуляции и помехоустойчивого кодирования, а также мультиплексор с технологией временного уплотнения каналов. Режимы работы модемного оборудования могут выбираться адаптивно или назначаться директивно в зависимости от условий помеховой обстановки. К мультиплексору подключены сети доступа, состоящие из конечных устройств-источников 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 технических характеристик каналообразующей 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 рисунке 1. Анализ данного графика показал, 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 ВССС в сложившейся помеховой обстановке приведет к необходимости частичного отключения каналов спутниковой связи в соответствии с их классами важности, что в итоге скажется на эффективности решения задач управления войсками и оружием.

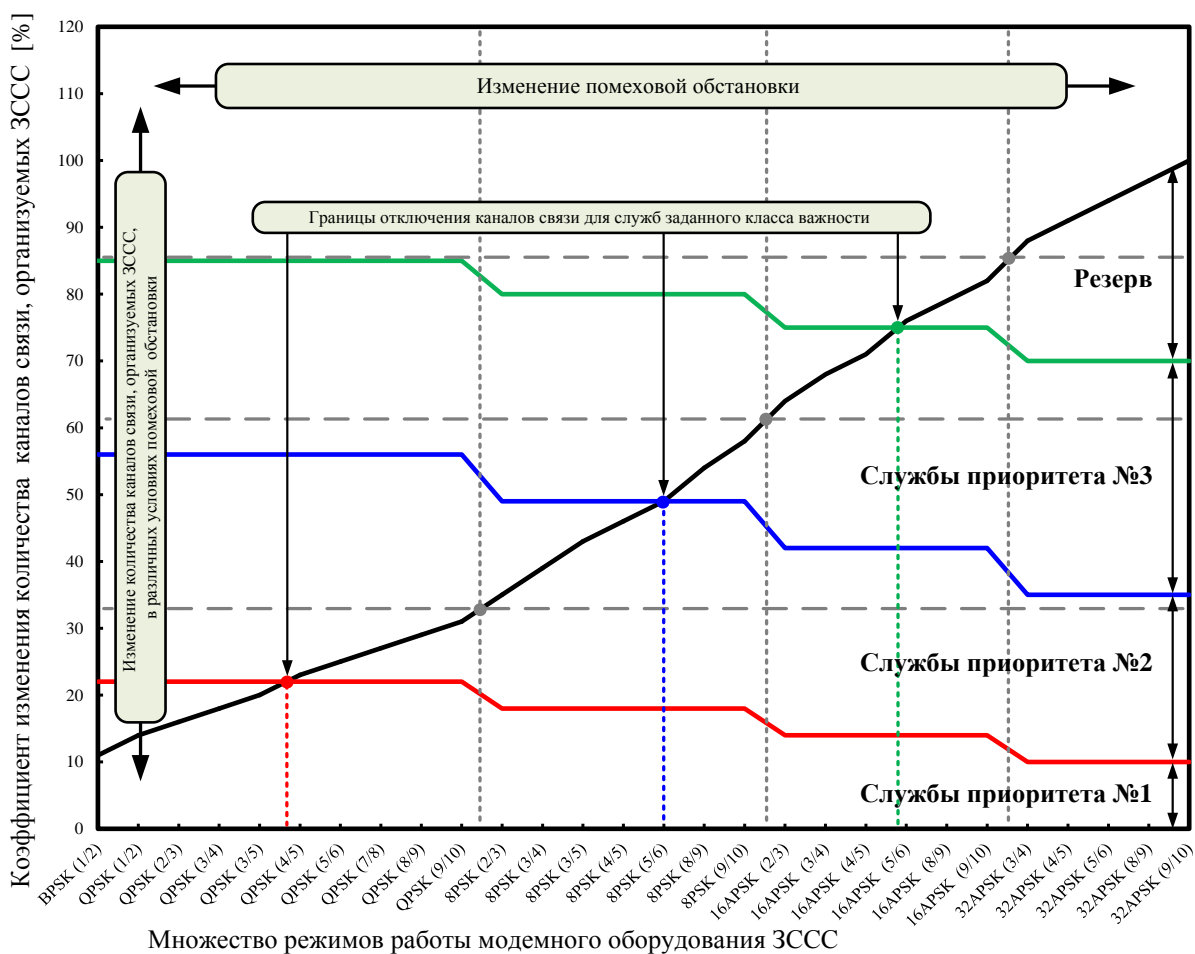


Рисунок 1. – График изменения количества каналов связи, организуемых ЗССС, при изменении помеховой обстановки

Анализ статистических свойств разнородного трафика ВССС позволил сделать вывод, что фактическая загрузка каналов спутниковой связи с учетом временных пауз 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 работе различных приложений позволяет организовать дополнительные каналы (рисунок 2), однако при этом качество передачи информации не должно опускаться

ниже нормированных показателей, особенно для приоритетных абонентов ВССС.

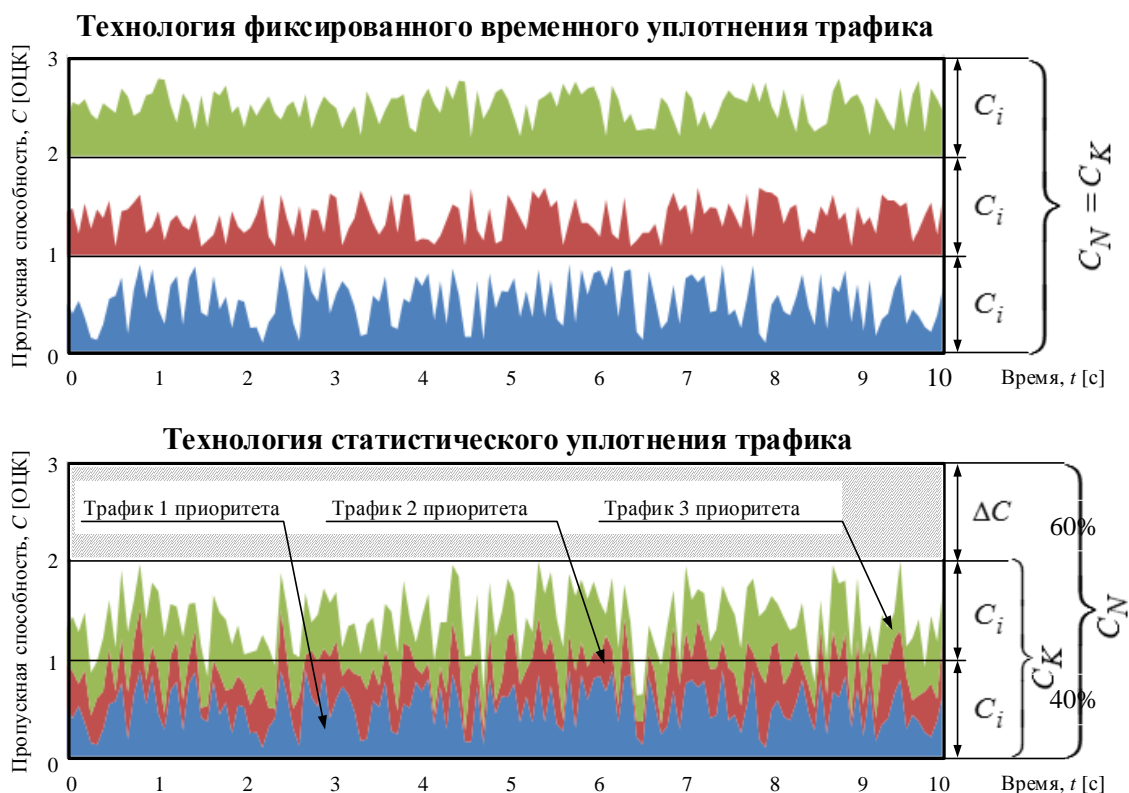


Рисунок 2. – Сравнение пропускной способности ЗССС при различных технологиях уплотнения трафика

Таким образом, возникает противоречие, заключающееся в наличии временных пауз, которые можно использовать как резерв для организации дополнительных каналов связи путем статистического уплотнения и необходимостью поддержания качества обслуживания приоритетных абонентов и прочих приложений. 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.

Для оценки эффективности применения технологии статистического уплотнения трафика введен показатель качества коэффициент уплотнения спутниковой радиолинии, который показывает отношение числа виртуальных (логических) каналов связи к числу стандартных физических каналов, формируемых типовым мультиплексором ЗССС. Тогда задача исследования, формально, состоит в максимизации показателя путем разработки моделей статистического уплотнения и алгоритмов диспетчеризации разнородного трафика при ограничениях на качество обслуживания:

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

где ρ – коэффициент уплотнения спутниковой радиолинии;

C_N – суммарная скорость группы виртуальных каналов связи;

C_K – суммарная скорость группы физических каналов связи типового мультиплексора ЗССС;

ΔC – выигрыш в пропускной способности ЗССС при применении статистического уплотнения спутниковой радиолинии;

N – число виртуальных каналов связи мультиплексора ЗССС;

K – число стандартных физических каналов мультиплексора ЗССС;

$M_{СУ}$ – модели статистического уплотнения разнородного трафика;

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

P_{Π} – вероятность потери пакета при статистическом уплотнении;

$P_{\text{доп}}$ – допустимая вероятность потери пакета согласно классу

обслуживания;

T_3 – среднее время задержки пакета при статистическом уплотнении;

$T_{доп}$ – допустимое время задержки пакета согласно классу обслуживания.

Решение задачи

Для исследования параметров трафика при его уплотнении разработана модель статистического уплотнения разнородного трафика, которая учитывает приоритеты в обслуживании. Данная модель представляет случайный марковский процесс, граф состояний которого представлен на рисунке 3.

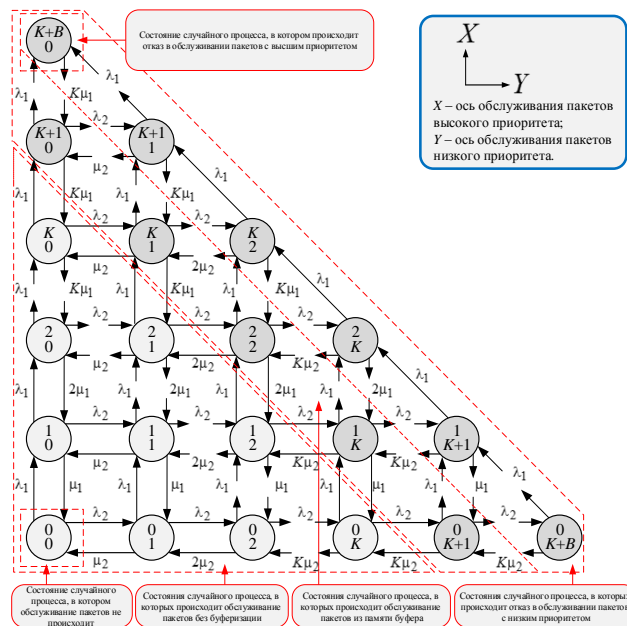


Рисунок 3. – Модель статистического уплотнения разнородного трафика с учетом приоритетов в обслуживании

Для описания модели использованы переменные, которые обозначают:

K – канальная емкость мультиплексора, выделяемая для передачи

группового потока уплотненного трафика;

- B – объем памяти буфера обмена мультиплексора выделенной для обслуживания входящего трафика;
- λ_1 – интенсивность поступления пакетов трафика с высоким приоритетом в обслуживании;
- μ_1 – интенсивность уплотнения пакетов трафика с высоким приоритетом в обслуживании;
- λ_2 – интенсивность поступления пакетов трафика с низким приоритетом в обслуживании;
- μ_2 – интенсивность уплотнения пакетов трафика с низким приоритетом в обслуживании.

В качестве примера представлен процесс обслуживания двух потоков пакетов: с высшим (ось x) и низшим (ось y) приоритетами. Каждое состояние процесса характеризуется двумя индексами по числу пакетов соответствующего приоритета, находящихся на обслуживании в мультиплексоре, а переходы между состояниями – поступлением нового пакета, либо завершением его обслуживания. Для обслуживания пакетов мультиплексор распределяет каналный ресурс, максимальная емкость которого K каналов, в случае его недостатка поступающие пакеты вытесняют пакеты низшего приоритета либо помещаются в буфер емкостью B . При переполнении буфера пакеты высшего приоритета вытесняют из буфера пакеты с низшим приоритетом.

Данный подход позволяет конструировать графы случайного марковского процесса различной сложности, путем введения дополнительных размерностей в

пространстве состояний, что соответствует учету дополнительных приоритетов в обслуживании. На рисунке 4 представлен граф с учетом трех приоритетов в обслуживании – высшего, среднего и низшего, принцип работы модели остается тот же.

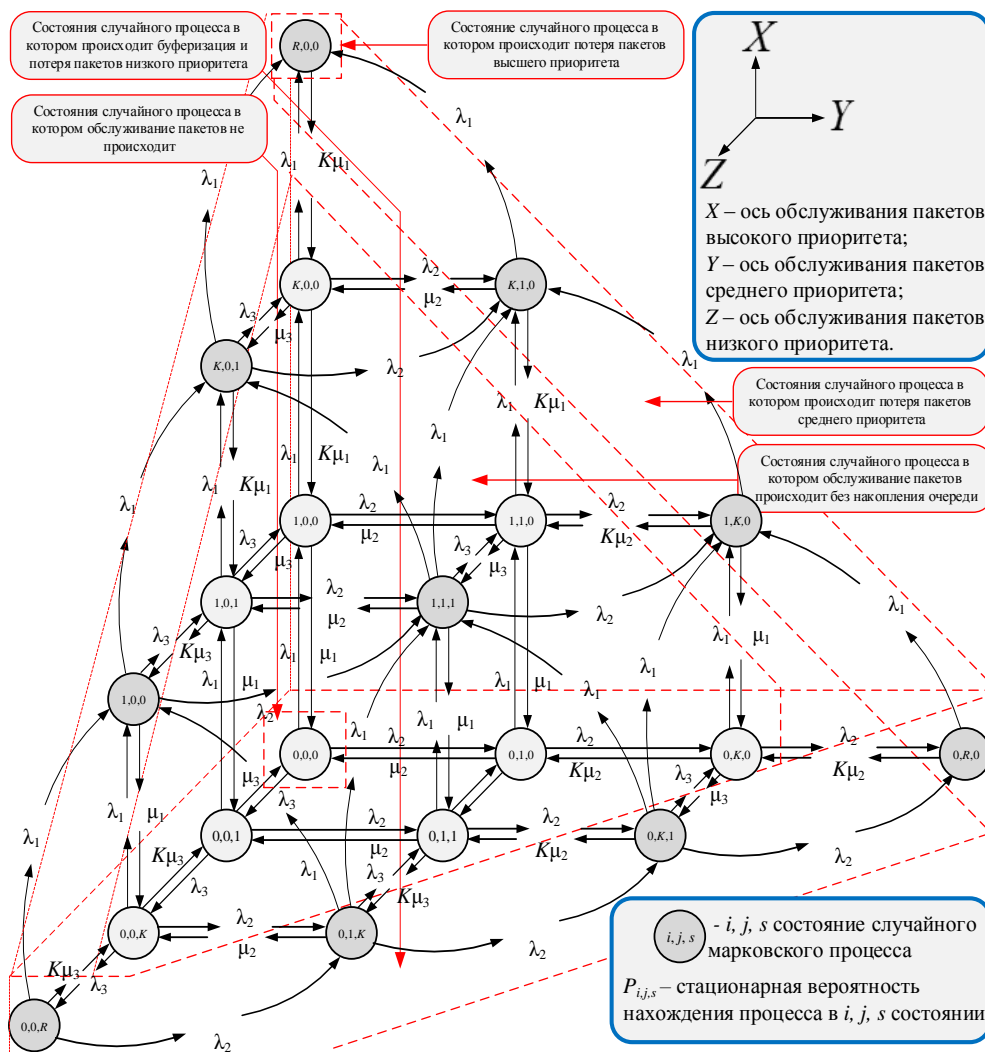


Рисунок 4. – Развитие модели статистического уплотнения разнородного трафика с учетом приоритетов в обслуживании

Для описания модели использованы переменные, которые обозначают:

K – канальная емкость мультиплексора, выделяемая для передачи группового потока уплотненного трафика;

- B – объем памяти буфера обмена мультиплексора выделенной для обслуживания входящего трафика;
- $R=K+B$ – ресурс мультиплексора, выделяемый для уплотнения входящего трафика;
- λ_1 – интенсивность поступления пакетов трафика с высоким приоритетом в обслуживании;
- μ_1 – интенсивность уплотнения пакетов трафика с высоким приоритетом в обслуживании;
- λ_2 – интенсивность поступления пакетов трафика со средним приоритетом в обслуживании;
- μ_2 – интенсивность уплотнения пакетов трафика со средним приоритетом в обслуживании;
- λ_3 – интенсивность поступления пакетов трафика с низким приоритетом в обслуживании;
- μ_3 – интенсивность уплотнения пакетов трафика с низким приоритетом в обслуживании;

Существенным ограничением данного класса моделей является наличие допущения о том, что потоки пакетов на входе мультиплексора являются стационарными пуассоновскими потоками.

Как показывают исследования реального мультисервисного трафика в работах ряда отечественных и зарубежных ученых, его структура существенно отличается от простейшего пуассоновского потока и характеризуется нестационарностью, а также долговременной корреляционной зависимостью (самоподобностью). Одним

из конструктивных направлений моделирования таких потоков, в рамках которого имеется возможность получения аналитического решения, является применение моделей на основе марковски модулированных пуассоновских процессов (ММП). Частным случаем таких моделей являются модели прерываемых пуассоновских потоков (ON-OFF модели). Каждый источник при этом имеет следующую структуру. В период активности (ON-периоды) источник генерирует пуассоновский поток пакетов. После периода активности следует пауза (OFF-период), когда источник не генерирует пакеты. Длительности периодов активности и пауз являются случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону. Комбинация нескольких таких ON-OFF источников образует ММП, интенсивность которого изменяется во времени, что позволяет учесть нестационарность реальных входных потоков. Данный подход к моделированию нестационарного трафика представлен на рисунке 5. В качестве примера на рисунке 5 изображён граф марковской цепи, моделирующей процесс передачи трафика от группы абонентов, который описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена:

$$\begin{cases} \dot{p}_0(t) = -N\alpha p_0(t) + \beta p_1(t); \\ \dot{p}_i(t) = (N-i)\alpha p_{i-1}(t) - ((N-i+1)\alpha + (N-i+1)\beta)p_i(t) + (N-i)\beta p_{i+1}(t); \\ \dot{p}_N(t) = \alpha p_{N-1}(t) - N\beta p_N(t). \end{cases} \quad (2)$$

где P_i – стационарная вероятность нахождения процесса в i -м состоянии;

$\alpha = 1/\bar{t}_a, \bar{t}_a$ – среднее время нахождения источника трафика в активном состоянии;

$\beta = 1/\bar{t}_{\text{П}}, \bar{t}_{\text{П}}$ – среднее время нахождения источника трафика в пассивном состоянии.

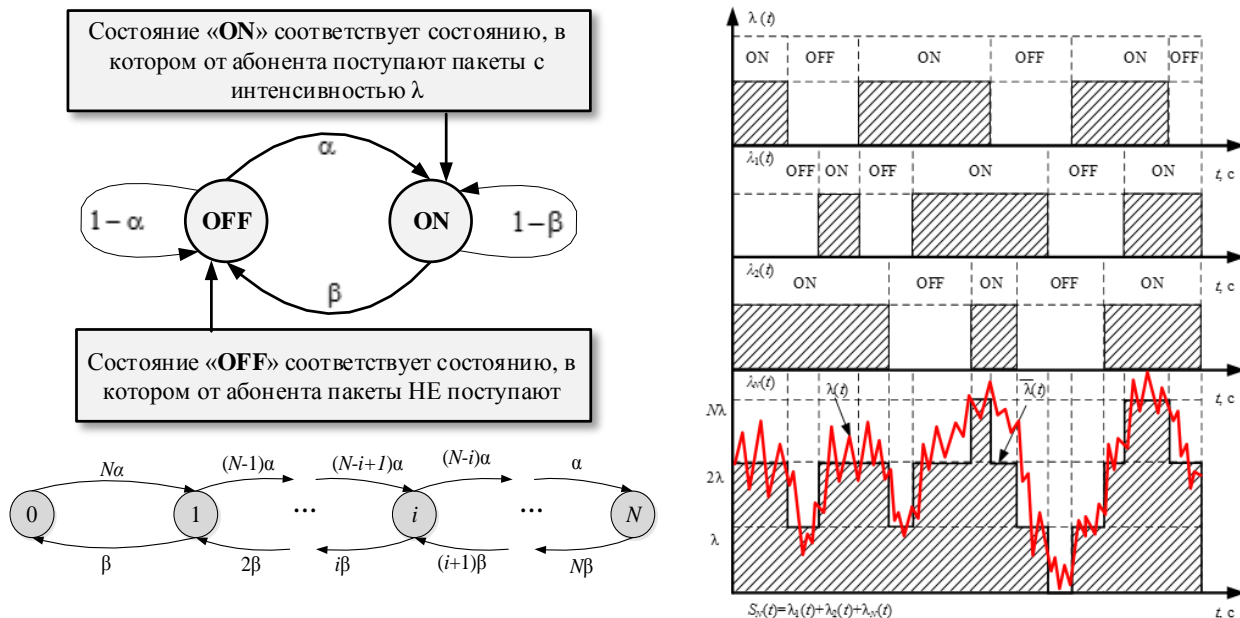


Рисунок 5. – Подход к моделированию нестационарного трафика

Данный подход позволил разработать модель статистического уплотнения однородного нестационарного трафика в виде случайного марковского процесса, граф состояний которого изображен на рисунке 6. Модель описывает процесс обслуживания пакетов в мультиплексоре (ось y), которые поступают с изменяющейся интенсивностью от группового источника состоящего из N абонентов (ось x). Состояние процесса характеризуется двумя индексами: количеством пакетов, находящихся на обслуживании и числом активных источников.

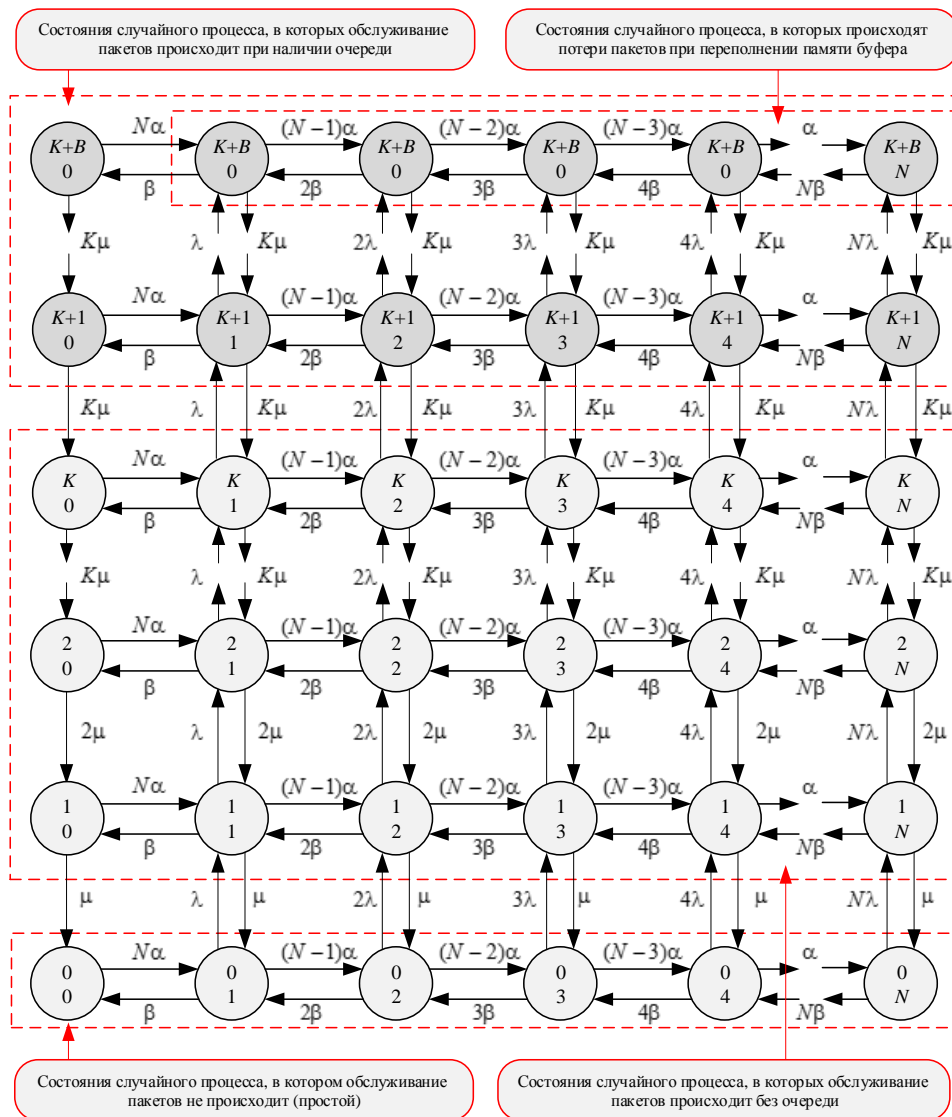


Рисунок 6. – Модель статистического уплотнения однородного нестационарного трафика от группы источников

Для описания модели использованы переменные, которые обозначают:

- K – канальная емкость мультиплексора, выделяемая для передачи группового потока уплотненного трафика;
- B – объем памяти буфера обмена мультиплексора выделенной для обслуживания входящего трафика;
- R – ресурс мультиплексора, выделяемый для уплотнения входящего трафика;

N – количество источников трафика;

α – интенсивность включения источников трафика;

β – интенсивность выключения источников трафика;

λ – интенсивность поступления пакетов в мультиплексор;

μ – интенсивность уплотнения пакетов в мультиплексоре.

Сочетание моделей приоритетного обслуживания и ММПП позволяет построить обобщенную многомерную модель уплотнения разнородного трафика, приведенную на рисунке 7, которая отличается от известных учетом нестационарности входящих информационных потоков и приоритетов в обслуживании. Приоритеты и разнородность трафика учитываются по осям x и y , а изменение интенсивности трафика (нестационарность) – по оси z . Переменные использованные для описания модели аналогичны предыдущим.

Использование разработанной методики позволяет рассчитать вероятности стационарных состояний случайного марковского процесса, моделирующего работу статистического мультиплексора и оценить вероятностно-временные характеристики (ВВХ) качества обслуживания разнородного трафика. Методика расчета указанных характеристик включает 4 этапа. На 1 этапе составляется система уравнений баланса переходов, которая на 2 этапе приводится к системе линейных алгебраических уравнений, решение которой позволяет оценить значения вероятностей стационарных состояний. Один из методов решения данной системы уравнений в матричном виде представлен на 3 этапе. 4 этап предполагает непосредственно расчет ВВХ трафика.

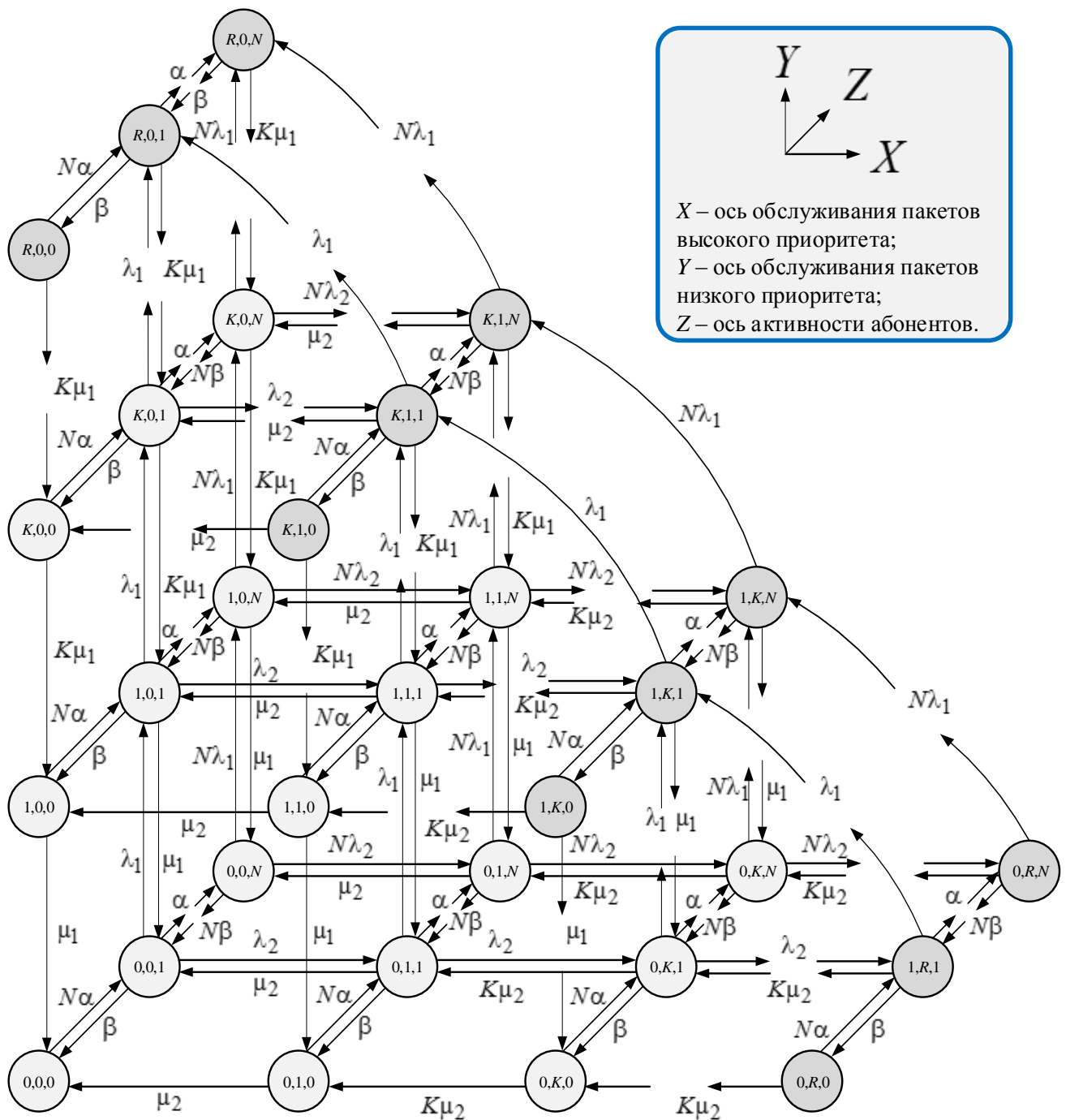


Рисунок 7. – Обобщенная модель статистического уплотнения
 разнородного трафика с учетом нестационарности информационных
 потоков и приоритетов в обслуживании

Методика расчета вероятностно-временных характеристик разнородного трафика.

Этап 1. Для расчёта стационарных вероятностей состояний $p_{i,j,k}$ рассматриваемой модели составляется система на основе уравнений баланса переходов:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\lambda_1 + \lambda_2) p_{i,j,k} = \mu_2 p_{i,j,k+1} + \mu_1 p_{i+1,j,k}, \\ i = 0, j = 0, k = 0; \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + j\mu_2) p_{i,j,k} = j\lambda_2 p_{i,j,k-1} + \mu_1 p_{i+1,j,k} + j\mu_2 p_{i+1,j,k}, \\ i = 1, 1 \leq j < R, k = 0; \\ \dots \\ \sum_{k=0}^N \sum_{i=0}^R \sum_{j=0}^{R-i} p_{i,j,k} = 1 \end{array} \right. \quad (3)$$

Этап 2. Приведение к системе линейных алгебраических уравнений, описывающих граф модели:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\lambda_1 + \lambda_2) p_{000} = \mu_2 p_{010} + \mu_1 p_{100}; \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2) p_{010} = \lambda_2 p_{000} + \mu_1 p_{110} + 2\mu_2 p_{200}; \\ \dots \\ p_{000} + p_{100} + p_{200} + \dots + p_{R,R,N} = 1 \end{array} \right. \quad (4)$$

Этап 3. Решение системы линейных алгебраических уравнений:

Вводится вектор: $P = [p_z = p_{ij}, z = \overline{1, Z}]^T \Rightarrow A \times P = B$.

где A – $(Z+1)Z$ -мерная матрица интенсивностей переходов;

P – Z -мерный вектор ненулевых состояний СМО;

B – $(Z+1)$ -мерный вектор правых частей.

Решение матричного уравнения: $P = A' \times B$, где A' – матрица, псевдообратная

матрице A , определяемая как $A' = [A^T A]^{-1} A^T$.

Этап 4. Расчет вероятности потери (переполнения буфера мультимплексора) пакетов с высоким и низким приоритетом:

$$P_{\Pi 1} = \sum_{k=1}^N p_{ijk}, \quad i = R, \quad j = 0; \quad P_{\Pi 2} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^R p_{ijk}, \quad j = R - i. \quad (5)$$

Расчет среднего времени задержки пакетов с высоким и низким приоритетом в памяти буфера мультиплексора до начала передачи:

$$\bar{q}_1 = \sum_{k=0}^N \sum_{i=K+1}^R (i - K) \sum_{j=0}^{R-i} p_{ijk}; \quad \bar{q}_2 = \sum_{k=0}^N \sum_{l=1}^B \sum_{i=0}^{K+j} \sum_{j=K+l-i}^1 p_{ijk}. \quad (6)$$

Расчет среднего времени задержки пакетов с высоким и низким приоритетом в памяти буфера мультиплексора до начала передачи:

$$\bar{\omega}_1 = \bar{q}_1 / [\lambda_1(1 - P_{\Pi 1})]; \quad \bar{\omega}_2 = \bar{q}_2 / [\lambda_2(1 - P_{\Pi 2})]. \quad (7)$$

Расчет среднего времени задержки с высоким и низким приоритетом при обслуживании в мультиплексоре:

$$\bar{\tau}_1 = 1 / \mu_1; \quad \bar{\tau}_2 = 1 / \mu_2. \quad (8)$$

Расчет среднего времени задержки в мультиплексоре с высоким и низким приоритетом:

$$T_{31} = \bar{\omega}_1 + \bar{\tau}_1 = \bar{q}_1 / [\lambda_1(1 - P_{\Pi 1})] + 1 / \mu_1; \\ T_{32} = \bar{\omega}_2 + \bar{\tau}_2 = \bar{q}_2 / [\lambda_2(1 - P_{\Pi 2})] + 1 / \mu_2. \quad (9)$$

Вычисление ВВХ трафика на основе разработанных моделей статистического уплотнения позволяет организовать итерационный процесс по расчету максимальных значений коэффициента уплотнений спутниковой радиолинии при заданных ограничениях, который производится численным методом:

$$\rho = \frac{N}{K} \rightarrow \max \begin{cases} P_{\Pi 1} \leq P_{\text{доп}1}, & P_{\Pi 2} \leq P_{\text{доп}2}; \\ T_{31} \leq T_{\text{доп}1}, & T_{32} \leq T_{\text{доп}2}. \end{cases} \quad (10)$$

Для автоматизации расчетов данная методика расчета реализована в программном комплексе MatLab о чем получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, представленное в приложении 1.

Расчет ВВХ трафика при его уплотнении позволяет обоснованно управлять назначением приоритетов в обслуживании в зависимости от статистических характеристик входных потоков и пропускной способности каналов связи.

Для управления параметрами качества обслуживания разнородного трафика предложен алгоритм диспетчеризации потоков разнородного трафика при статистическом уплотнении (рисунок 8), который отличается от известных наличием механизма динамического назначения приоритетов при обслуживании разнородного трафика. Особенностью работы данного алгоритма является учет приоритетности пакетов трафика при поступлении в буфер мультиплексора. Если в буфере мультиплексора имеются пакеты трафика низкого приоритета, то при его переполнении происходит сброс пакета и помещение в буфер пакетов с более высоким приоритетом. При отказе в обслуживании пакетов высшего приоритета происходит коррекция показателей качества обслуживания, пересчет параметров модели и перераспределение приоритетов в обслуживании до тех пор, пока необходимое качество обслуживания не будет достигнуто.

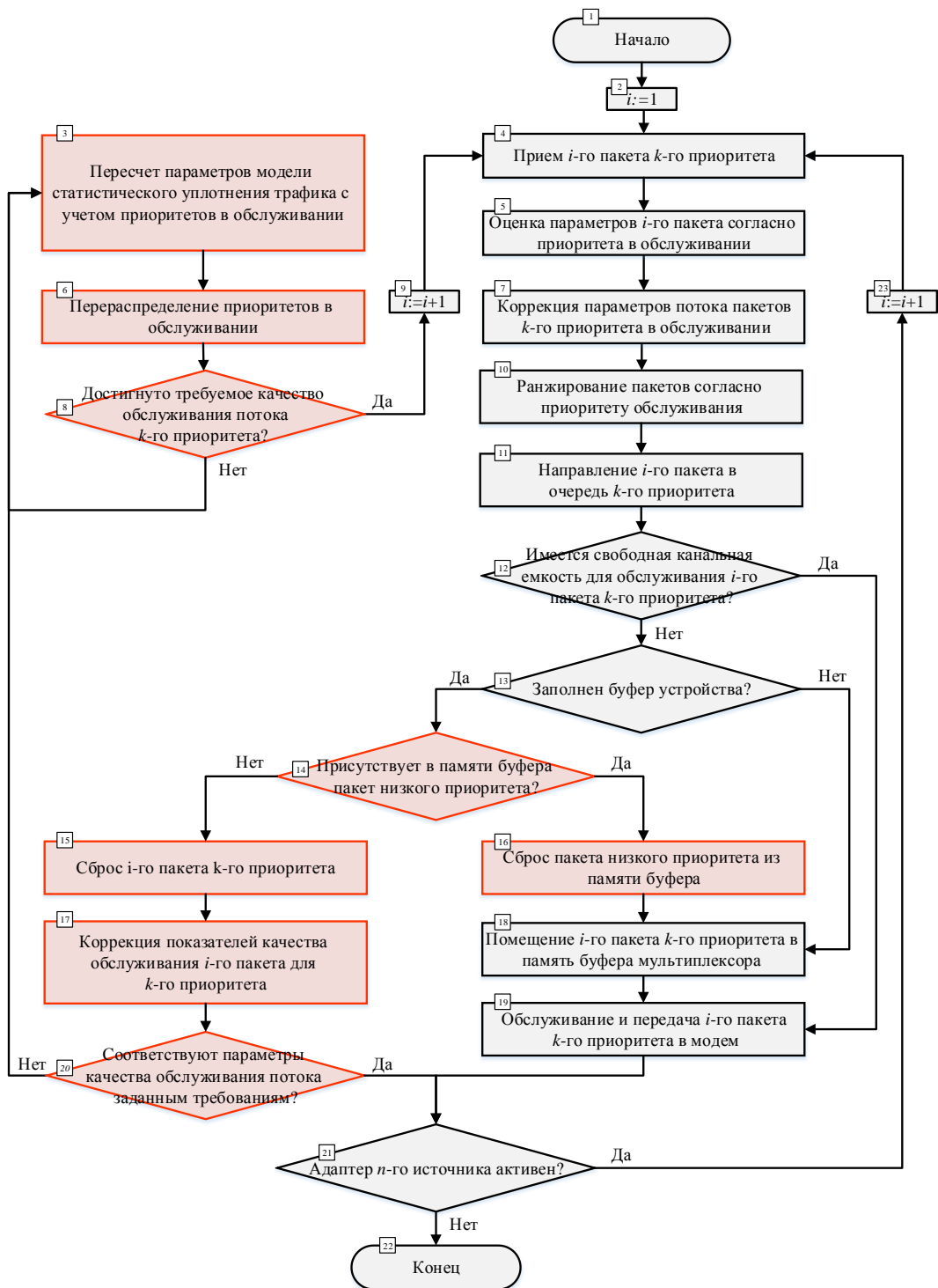


Рисунок 8. – Алгоритм диспетчеризации потоков разнородного трафика при статистическом уплотнении с учетом приоритетов в обслуживании

В дополнение к первому алгоритму в работе предложен алгоритм диспетчеризации потоков разнородного трафика при статистическом уплотнении, который представленный на рисунке 9.

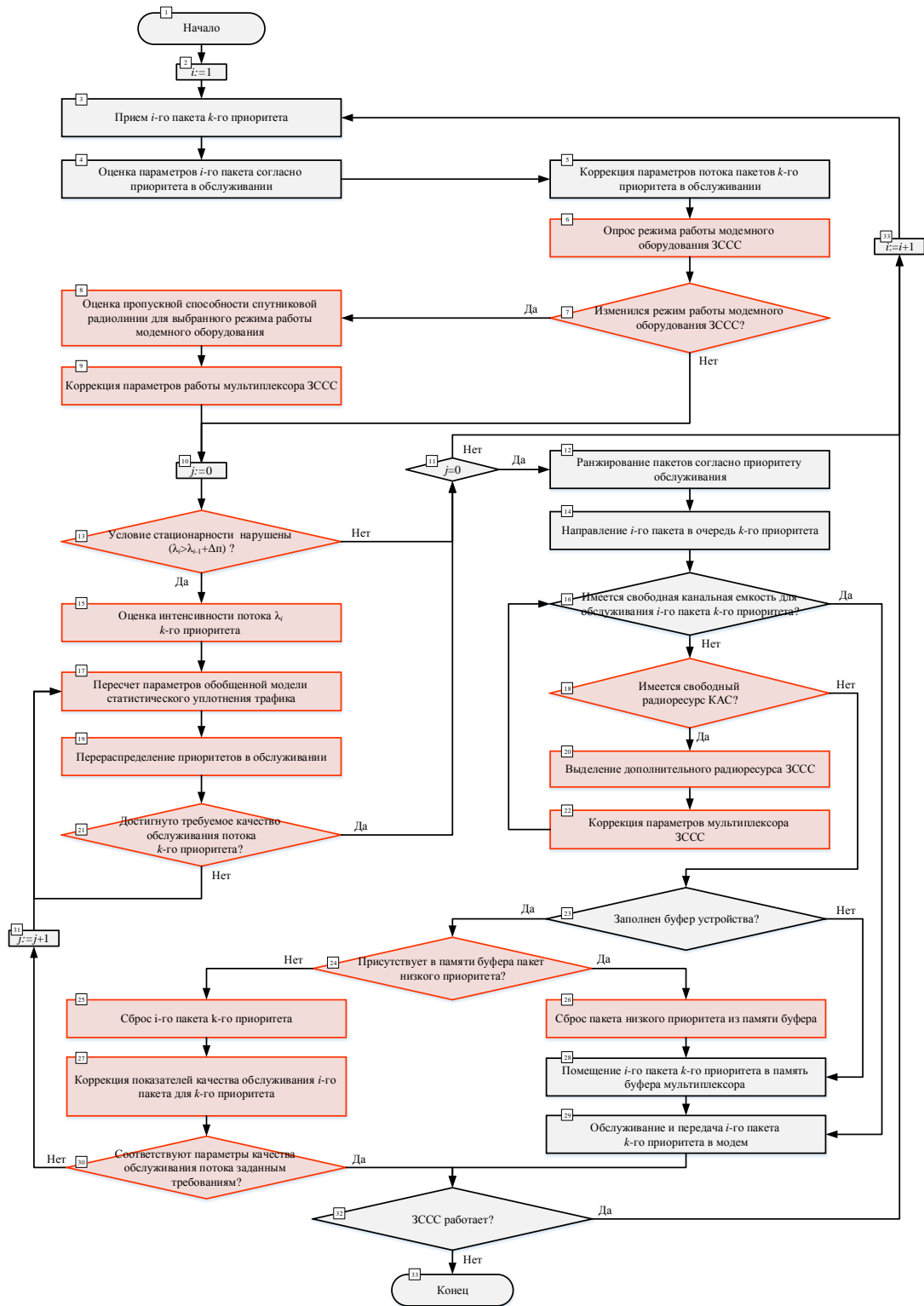


Рисунок 9. – Алгоритм диспетчеризации потоков разнородного, нестационарного трафика с учетом приоритетов в обслуживании при изменении пропускной способности каналов спутниковой связи

Данный алгоритм отличается от известных учетом, не только приоритетов в обслуживании, но и нестационарности входящего потока для различных режимов работы спутниковой радиолинии. Схема работы данного алгоритма предполагает статистическую оценку параметров потока трафика, включая проверку на нестационарность. В случае изменения интенсивности потока и выхода за пределы допустимого, происходит коррекция показателей качества обслуживания трафика, пересчет параметров модели, коррекция плана распределения потоков осуществляется до тех пор, пока необходимое качество обслуживания потока высшего приоритета не будет достигнуто. Изменение режимов работы спутниковой радиолинии учитывается путем опроса текущей конфигурации модемного оборудования с последующей коррекцией режима работы мультиплексора и запросом о выделении дополнительного радиоресурса ЗССС, если таковой имеется.

Для оценки изменения параметров трафика при статистическом уплотнении проведено исследование зависимостей изменения вероятностно-временных характеристик, которые изображены на рисунках 9-10. В качестве исходных использовались 3 вида трафика:

1. Трафик IP-телефонии, с использованием GSM-кодека, объемом пакета 60 байт, со скоростью каналов связи 64 кбит/с.

2. Видеопоток с применением mpeg-2 кодека, объемом пакета 192 байт, со скоростью каналов связи 2 Мбит/с.

3. Трафик передачи данных, объемом пакета 1,5 Кбайт, со скоростью каналов связи 1 Мбит/с.

Анализ графика на рисунке 10 показал, что вероятность потери пакетов при

статистическом уплотнении разнородного 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. Данный факт связан с уменьшением длительности пауз, в течение которых возможно передавать дополнительный трафик (рисунок 11).

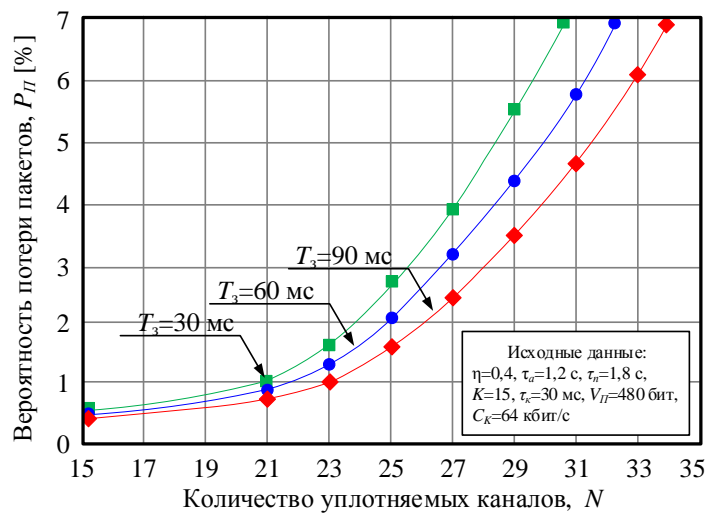


Рисунок 10. – Зависимость вероятности потери пакетов от количества источников трафика для различных значений допустимой задержки при обслуживании

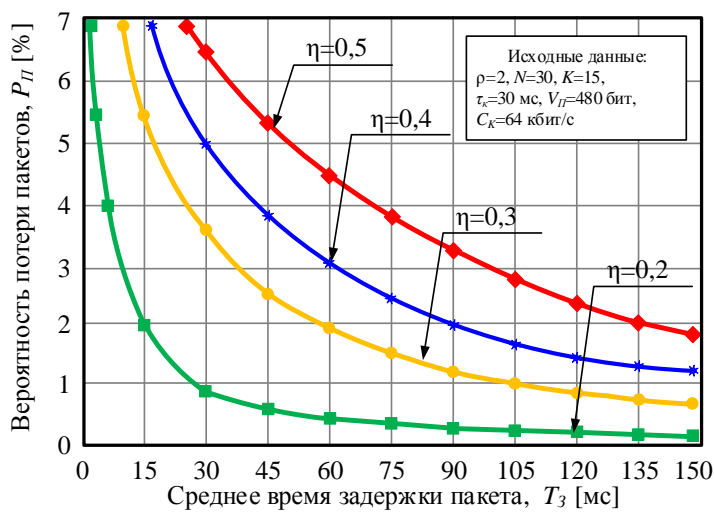


Рисунок 11. – Зависимость вероятности потери пакетов от задержки при различной активности (η) источников трафика

Для оценки эффективности применения разработанных моделей и алгоритмов, а также степени достижения показателя качества проведено исследование зависимостей изменения коэффициента уплотнения от различных параметров мультиплексирования и свойств источников трафика. Результаты исследования представлены на рисунках 12-13.

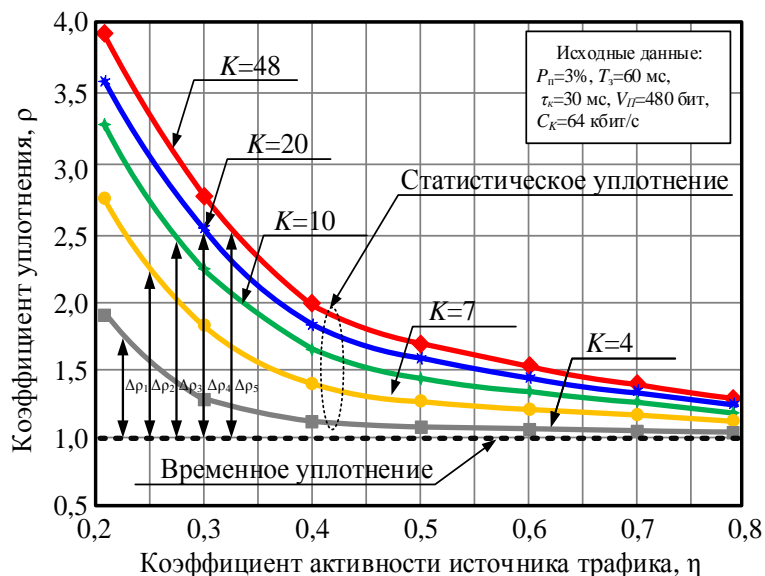


Рисунок 12. – Зависимость коэффициента уплотнения от активности источников трафика при изменении канальной емкости мультиплексора

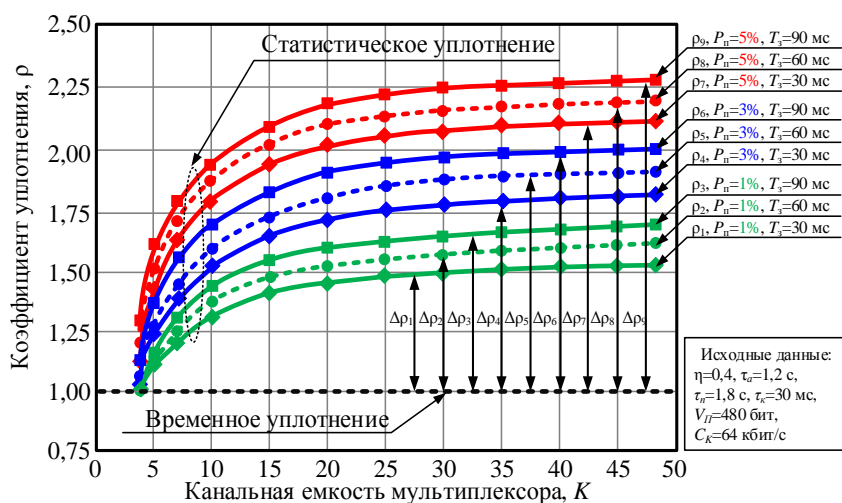


Рисунок 13. – Зависимость коэффициента уплотнения от канальной емкости мультиплексора при различных требованиях к качеству обслуживания

Коэффициент уплотнения спутниковой радиолинии ЗССС повышается с ростом его емкости канальной группы и понижением активности источников трафика. Его предельное значение ограничено требованиями к качеству обслуживания, при этом необходимо отметить, что чем выше требования к качеству обслуживания, тем меньше коэффициент уплотнения спутниковой радиолинии.

Обобщая полученные зависимости, можно оценить достигаемый выигрыш в числе каналов, организуемых ЗССС на основе предложенной технологии статистического уплотнения по сравнению с традиционной технологией уплотнения в различных условиях помеховой обстановки (рисунок 14).

На основе полученных моделей и алгоритмов сформированы рекомендации по совершенствованию специального программно-математического обеспечения (СПМО) мультиплексора ЗССС, которые позволяют оперативно управлять назначением приоритетов при диспетчеризации разнородного трафика и существенно повысить пропускную способность ЗССС. На основе СПМО мультиплексора реализован механизм диспетчеризации разнородного трафика ЗССС (рисунок 15), который предназначен для организации управления трафиком, поступающим от разнородных абонентов, контроля за выполнением требований к качеству обслуживания для заданного вида трафика и наличием канального ресурса мультиплексора.

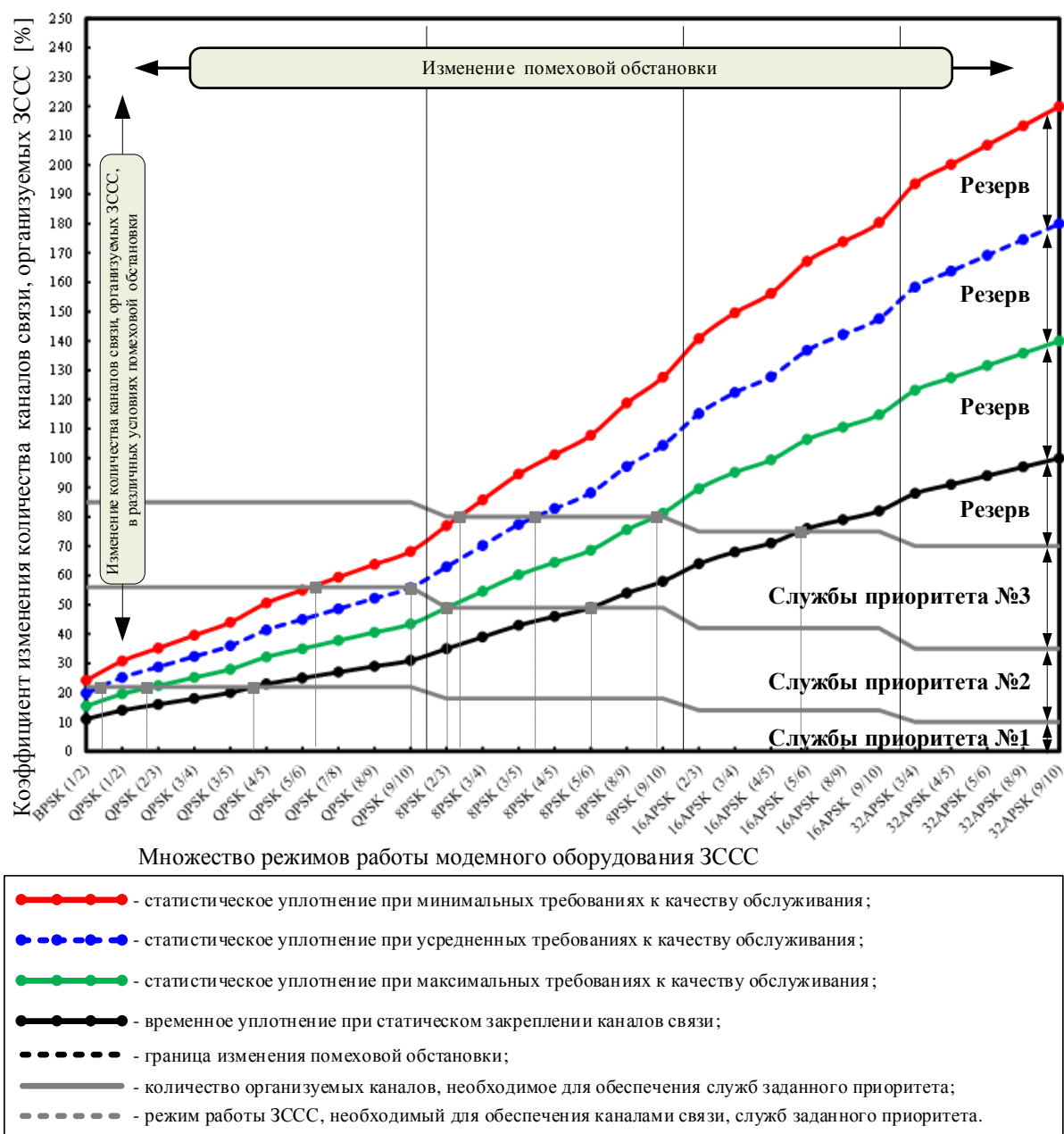


Рисунок 14. – График изменения количества каналов связи, организуемых ЗССС в различных условиях помеховой обстановки

В рамках проводимых исследований разработан макет СПМО мультиплексора, которое должно быть интегрировано в состав автоматизированной системы управления ЗССС. СПМО мультиплексора, структура которого представлена на рисунке 16. СПМО мультиплексора должно 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.

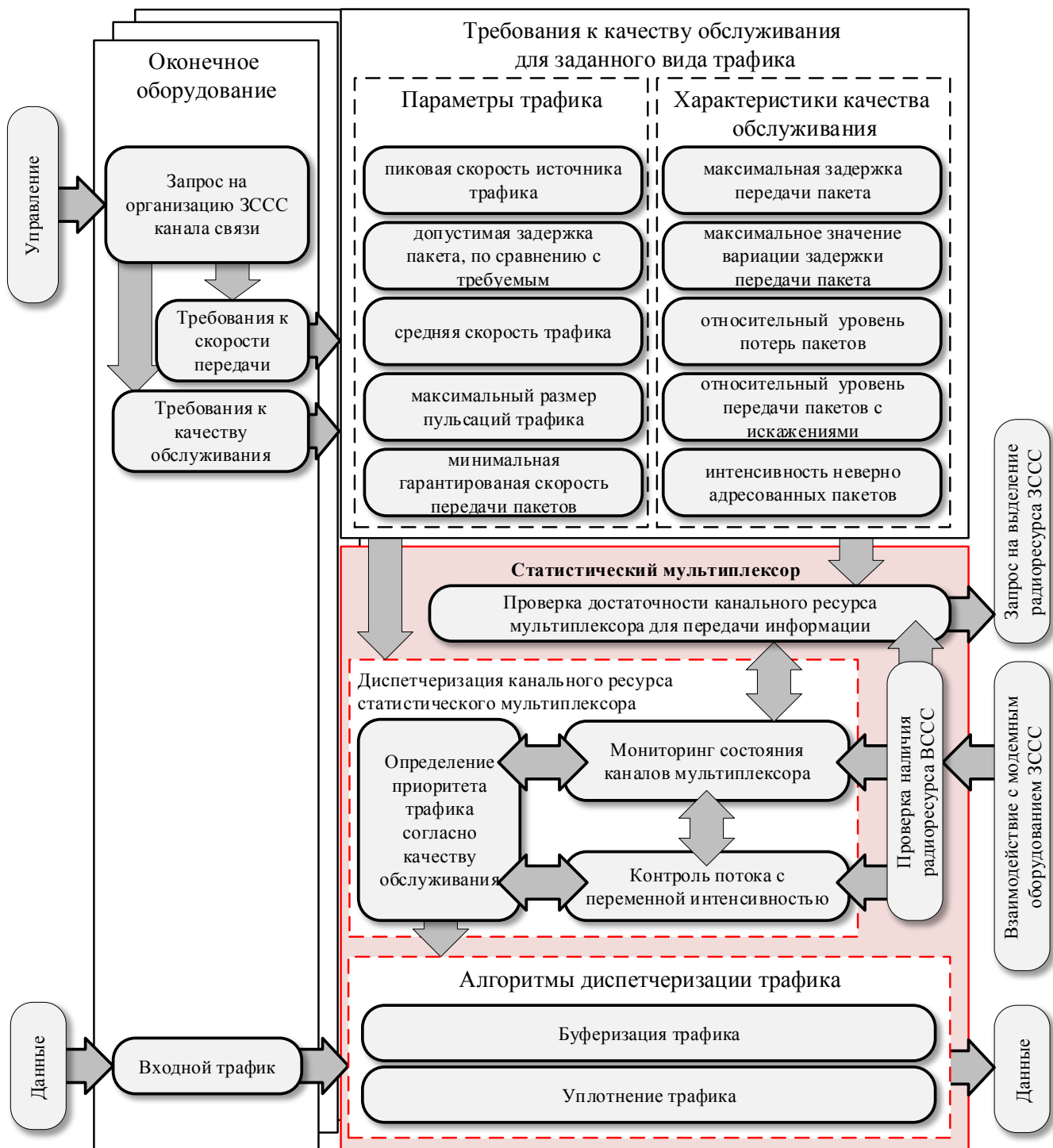


Рисунок 15. – Механизм диспетчеризации разнородного трафика реализуемого в

СПМО статистического мультиплексора ЗССС

Примеры интерфейсов основных модулей СПМО мультиплексора приведены на рисунках 17-20. Представленные модули позволяют оператору ЗССС проводить комплекс операций по сбору статистики действующих каналов связи, оценки качества обслуживания, назначения приоритетов и администрирования абонентов.



Рисунок 16. – Макет СПМО статистического мультиплексора ЗССС

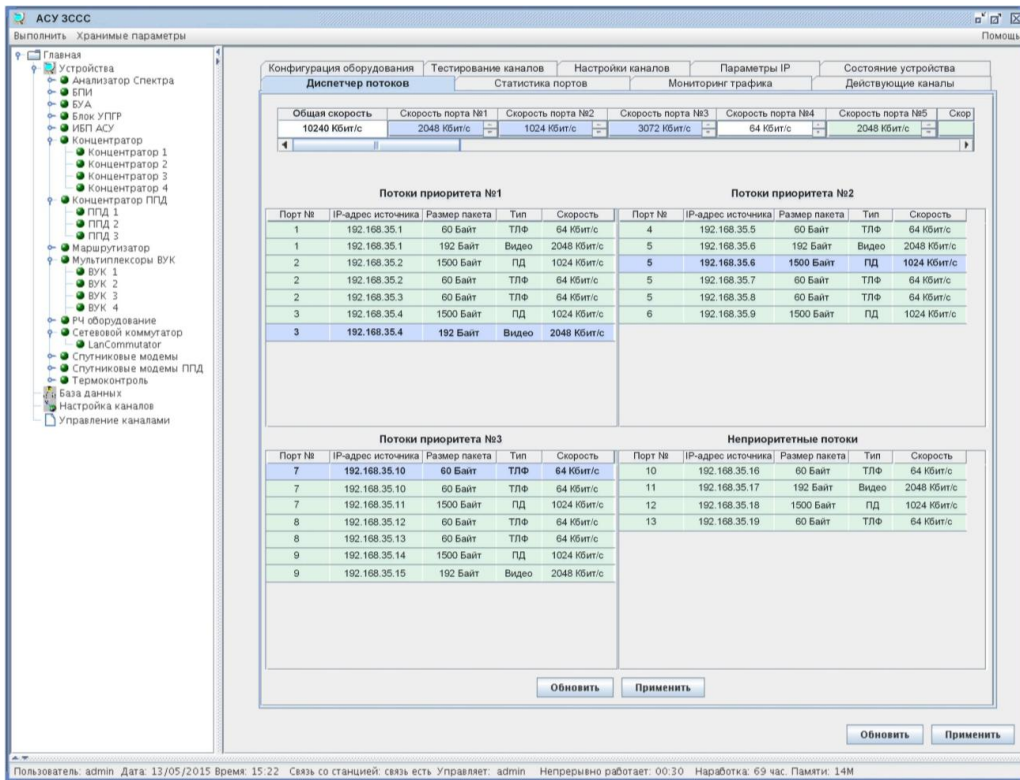


Рисунок 17. – Интерфейс модуля диспетчеризации потоков СПМО статистического мультиплексора ЗССС

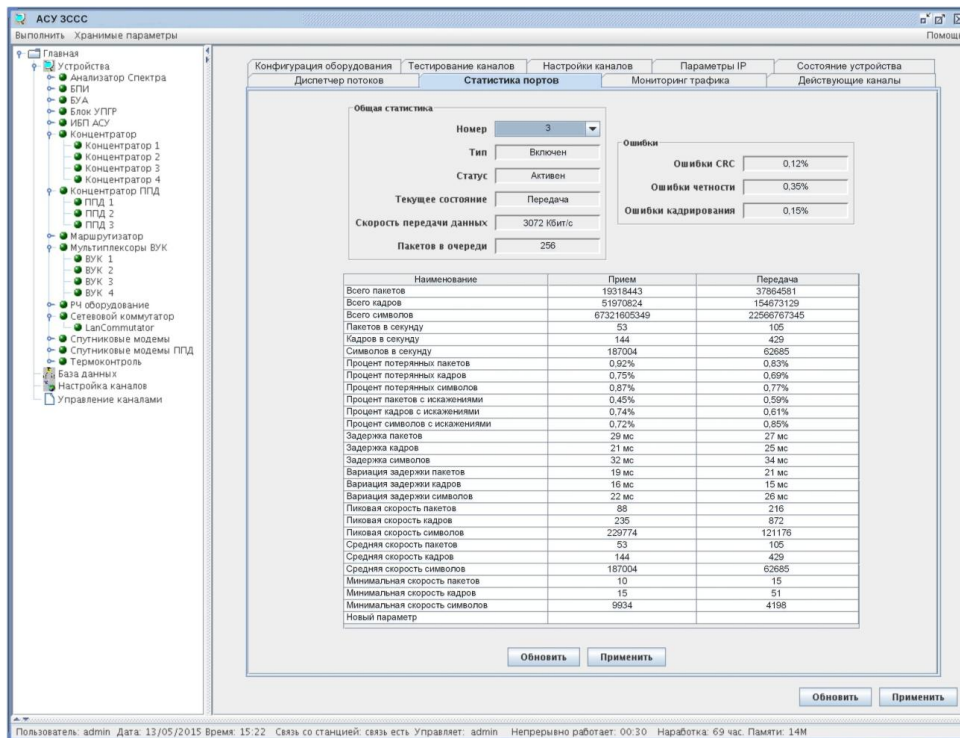


Рисунок 18. – Интерфейс модуля сбора статистики портов СПМО статистического мультиплексора ЗССС

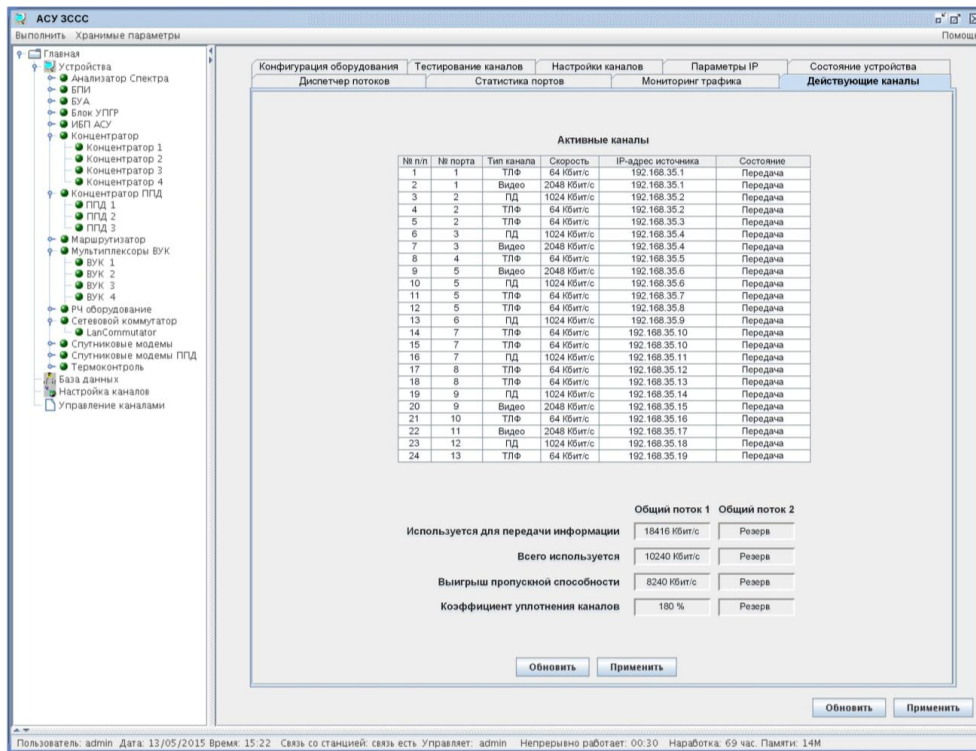


Рисунок 19. – Интерфейс модуля мониторинга потоков СПМО статистического мультиплексора ЗССС

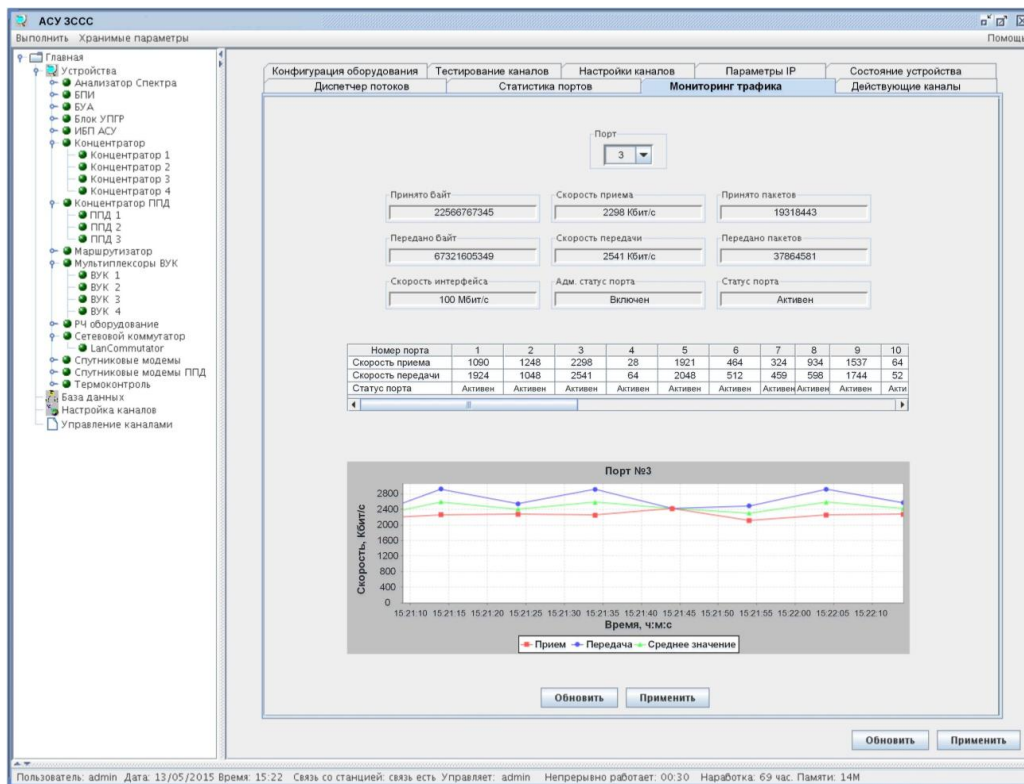


Рисунок 20. – Интерфейс модуля действующих каналов связи СПМО статистического мультиплексора ЗССС

Модуль диспетчеризации потоков СПМО позволяет оператору ЗССС проводить управление информационными потоками путем назначения приоритетов в обслуживании в ручном и автоматическом режиме работы.

Модуль сбора статистики портов СПМО позволяет оператору ЗССС проводить статистическую оценку загрузки портов мультиплексора для определения качества обслуживания абонентов военных сетей спутниковой связи.

Модуль мониторинга потоков СПМО позволяет оператору ЗССС проводить наблюдение загрузки портов статистического мультиплексора для оперативной оценки нагрузки каналов связи в различных условиях помеховой обстановки.

Модуль действующих каналов связи СПМО позволяет оператору ЗССС проводить администрирование подключенных каналов связи, а также устанавливать необходимый коэффициент уплотнения статистического мультиплексора.

Анализ основных свойств разработанных алгоритмов, в частности вычислительной сложности, показал целесообразность применения данных алгоритмов в составе СПМО нового парка ЗССС. Для парка ЗССС предыдущих поколений, рекомендовано произвести модернизацию оборудования мультиплексора (рисунок 21).

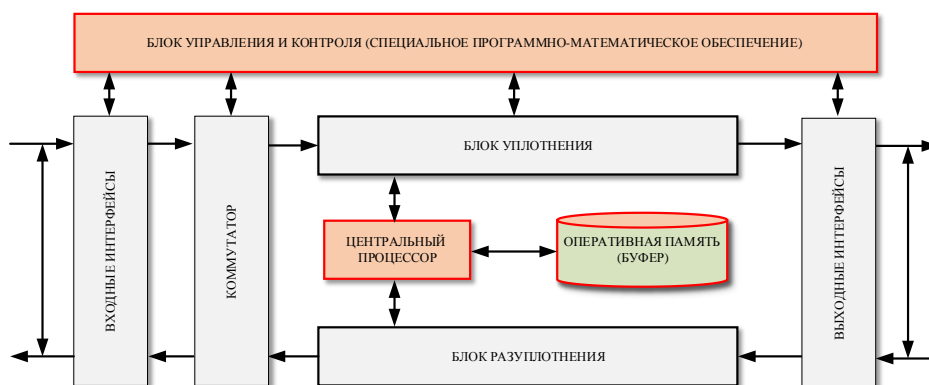


Рисунок 21. – Структурная схема статистического мультиплексора

Основные рассматриваемые пути модернизации – это повышение производительности центрального процессора и емкости оперативной памяти мультиплексора. Величина повышения будет зависеть от технических характеристик каналообразующей аппаратуры ЗССС.

Заключение

Таким образом, использование технологии статистического уплотнения в сочетании с механизмом динамического назначения приоритетов в обслуживании разнородного трафика позволяет заметно увеличить число каналов связи по сравнению с традиционной технологией уплотнения, 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 модемного оборудования. Так, при наиболее жестких требованиях к качеству обслуживания выигрыш составит до 40%, при менее жестких (неограниченная допустимая задержка) до 120%, что в среднем составляет до 80%.

Получены результаты обладающие научной новизной и практической значимостью: модели статистического уплотнения разнородного трафика, алгоритмы диспетчеризации разнородного трафика, сформированы предложения по совершенствованию СПМО мультиплексора ЗССС.

Библиографический список

1. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Вузовская книга, 2004. – 664 с.
2. Камнев В.Е. Спутниковые сети связи. – М.: Альбина Паблишер, 2004. – 536 с.
3. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979. – 600 с.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
5. Ковальский А.А., Кузичкин А.В., Зиннуров С.Х. Динамическое распределение радиоресурса ретранслятора с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении // Известия института инженерной физики. 2014. №4. С.51-56.
6. Кузичкин А.В., Ковальский А.А., Зиннуров С.Х. Динамическое распределение радиоресурса ретранслятора с учетом неоднородности трафика и запаздывания при управлении // Прикладная физика и математика. 2014. №6. С. 8-14.
7. Топорков И.С. Ковальский А.А., Зиннуров С.Х. Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании разнородного нестационарного трафика // Известия института инженерной физики. 2016. №1. С. 37-47.
8. Ковальский А.А., Зиннуров С.Х., Кузичкин А.В. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном

потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Инженерная физика. 2015. №6. С. 49-57.

9. Корнышев Ю.Н. Теория телетрафика. – М.: Радио и связь, 1996 – 272 с.

10. Шелухин О.И. Цифровая обработка речи. – М.: Радио и связь, 2000. – 256с.

11. Генов А.А., Осипов В.В., Савилкин С.Б. Принципы реализации сети спутниковой связи стандарта DVB-RCS с пространственно-частотно-временным разделением ресурса на основе многолучевых АФАР X-диапазона // Труды МАИ, 2016, № 87: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=69734>

12. Филатов В.И. Широкополосная система радиосвязи повышенной скорости передачи информации // Труды МАИ, 2015, № 81: <https://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=57889>