

**ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОГО
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ
МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА
В КАНАЛООБРАЗУЮЩЕЙ АППАРАТУРЕ
ЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ.
ЧАСТЬ 2. МОДЕЛИ АДАПТИВНОГО
МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ ТРАФИКА**

А.А. Ковальский^{1*}

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 2. Модели адаптивного мультиплексирования трафика // Труды учебных заведений связи. 2017. Том 3. № 2. С. 84–92.

Аннотация: *Статья посвящена вопросам организации адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации трафика мультисервисных сетей в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи с учетом изменяющейся помеховой обстановки. Разработаны модели адаптивного мультиплексирования трафика мультисервисных сетей с учетом приоритетов в обслуживании и нестационарности входящих информационных потоков на основе марковских модулируемых пуассоновских процессов. Для получения вероятностно-временных характеристик мультисервисного трафика при его мультиплексировании использована методика расчета основе предложенных моделей, которая реализована в виде программы в среде MatLab.*

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

**RESEARCH OF ADAPTIVE MULTIPLEXING
AND SCHEDULING OF THE MULTISERVICE TRAFFIC
IN THE CHANNELING EQUIPMENT OF TERRESTRIAL
STATIONS OF SATELLITE COMMUNICATION.
PART 2. MODELS OF ADAPTIVE MULTIPLEXING
OF THE TRAFFIC**

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 Scheduling of the Multiservice Traffic in the Channeling Equipment of Terrestrial Stations of Satellite Communication. Part 2. Models of Adaptive Multiplexing of the Traffic // Proceedings of Educational Institutes of Communication. 2017. Vol. 3. Iss. 2. PP. 84–92.

Abstract: *Article is devoted to questions of the organization of adaptive multiplexing and scheduling of a traffic of multiservice networks in the channeling equipment of terrestrial stations of satellite communication taking into account the changing interfering situation. Models of adaptive multiplexing of a multiservice traffic taking into account priorities in service and not stationarity of the incoming information flows on the basis of Markovly the modulated Poisson processes are developed. For receiving probabilistic time response characteristics of a multiservice traffic at its multiplexing the calculation procedure to a basis of the offered models which is realized in the form of the program in the environment of MatLab is used.*

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

Для решения задачи организации адаптивного мультиплексирования и диспетчеризации мультисервисного трафика в каналообразующей аппаратуре земных станций спутниковой связи (ЗССС), а также исследования параметров трафика при его мультиплексировании разработана модель адаптивного мультиплексирования мультисервисного трафика, которая отличается от известных учетом приоритетов в обслуживании. Данная модель представляет случайный марковский процесс, граф состояний которого представлен на рис. 1 и изображает процесс обслуживания двух разнородных 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 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 дополнительного количества приоритетов в обслуживании. На рис. 2 представлен граф с учетом трех приоритетов в обслуживании – высшего, среднего и низшего, принцип работы модели остается тот же. Существенным ограничением данного класса моделей является наличие допущения о том, что потоки пакетов на входе мультиплексора являются стационарными пуассоновскими потоками.

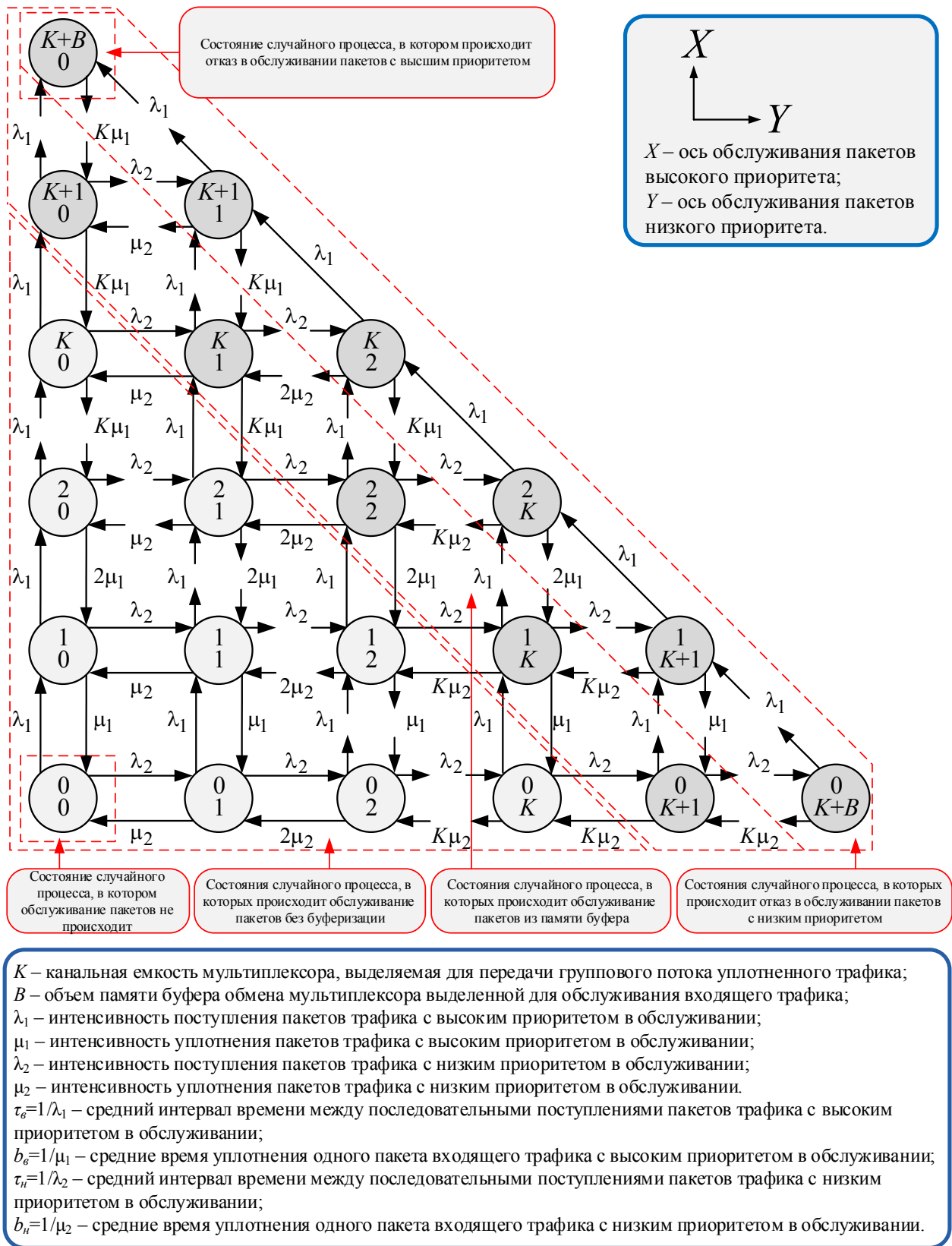


Рисунок 1. Модель адаптивного мультиплексирования мультисервисного трафика с учетом приоритетов в обслуживании

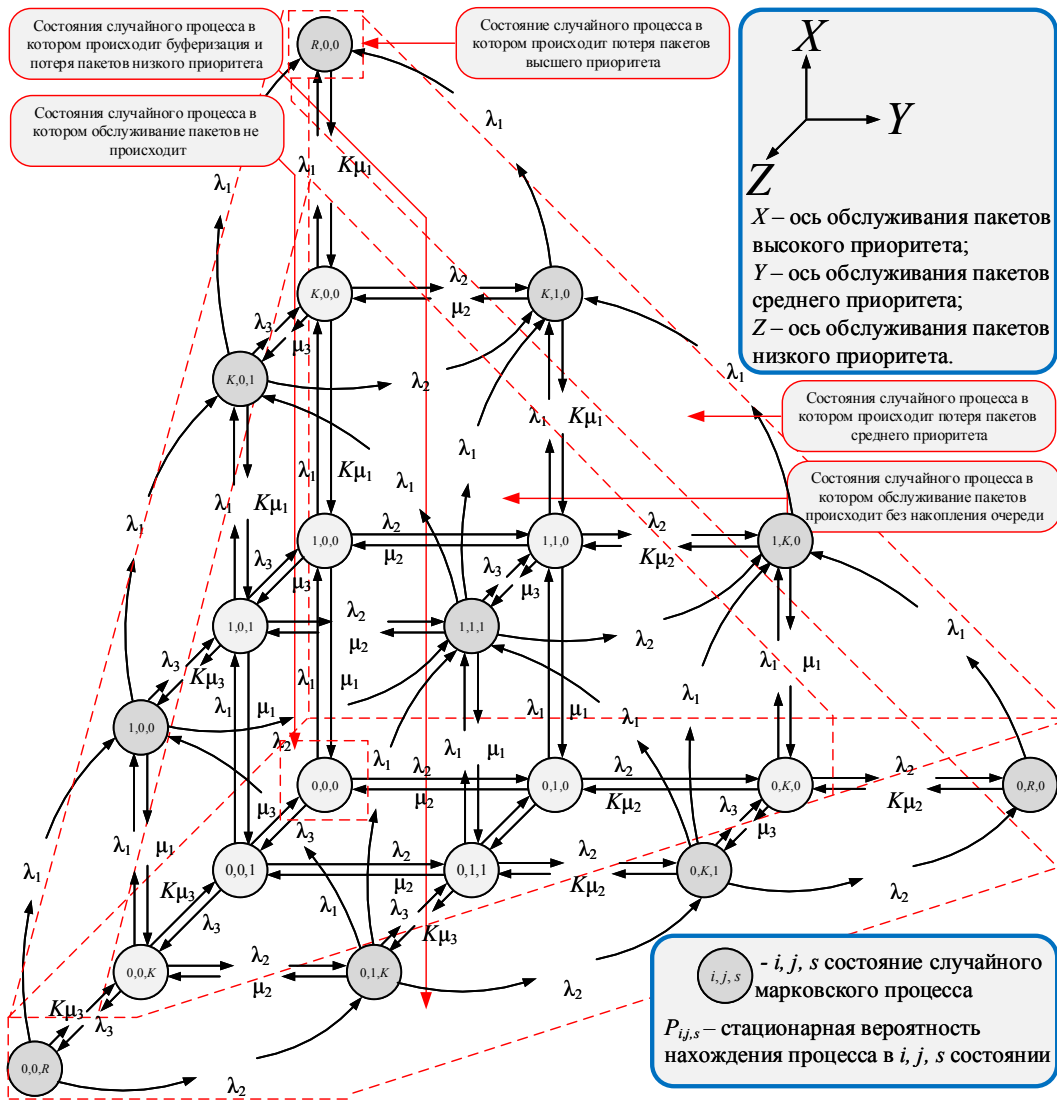


Рисунок 2. Развитие модели адаптивного мультиплексирования мультисервисного трафика с учетом приоритетов в обслуживании

Как показывают исследования реального мультисервисного трафика, 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 марковских моделей пуассоновских процессов (ММП). Частным случаем таких моделей являются модели прерываемых пуассоновских процессов (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. Комбина-

ция нескольких таких ON-OFF источников образует ММПП, интенсивность которого изменяется во времени, что позволяет учесть нестационарность реальных входных потоков. На рис. 3 изображён граф марковской цепи, моделирующей процесс передачи трафика от группы абонентов, который описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена:

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

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

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

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

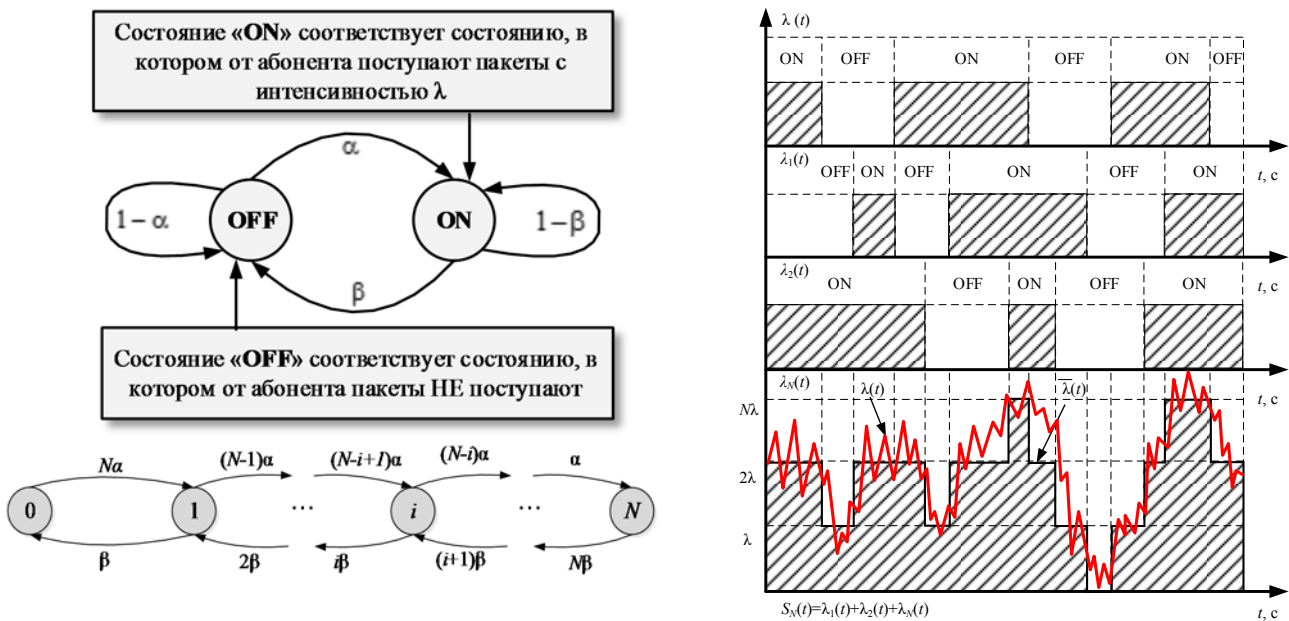
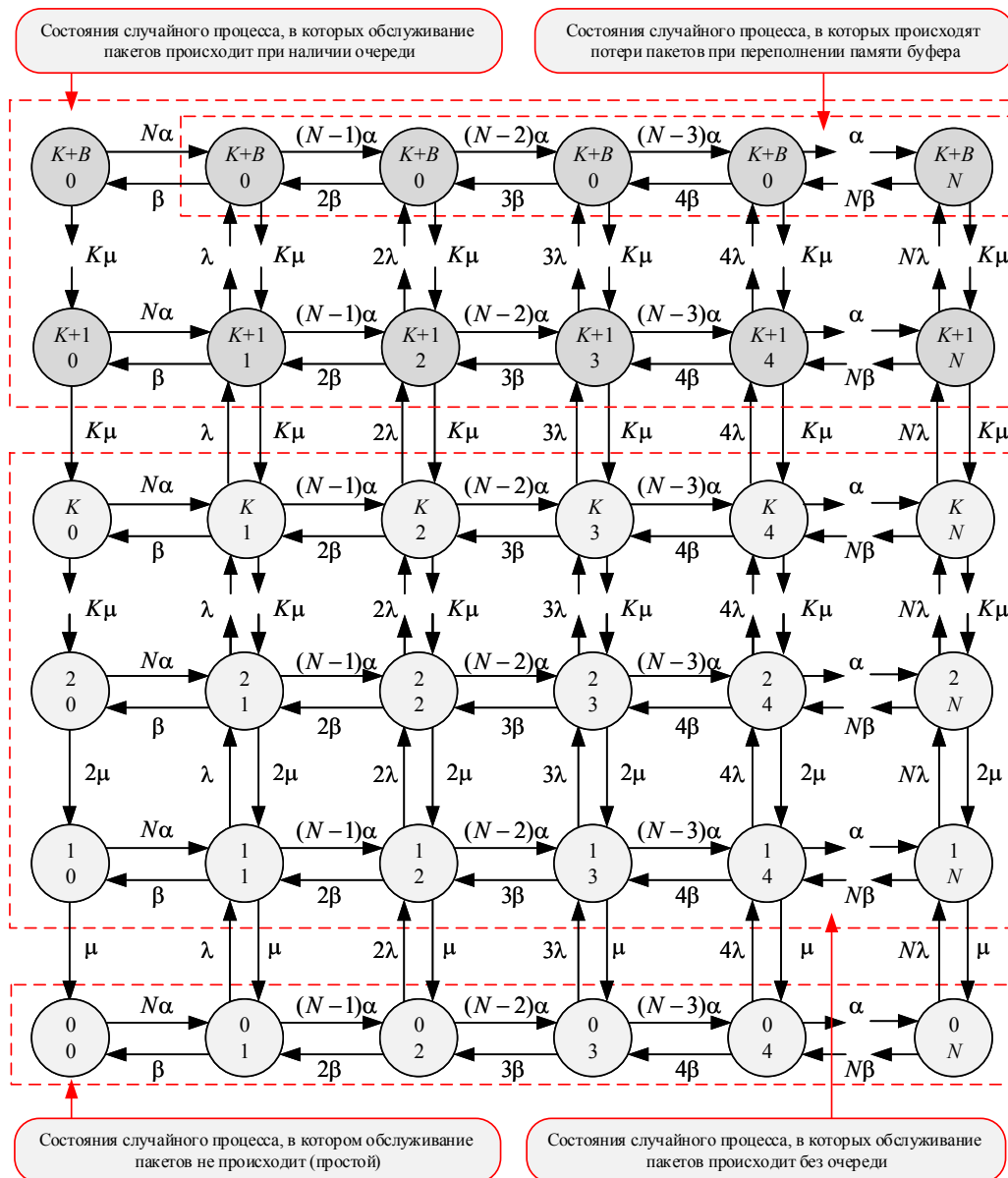


Рисунок 3. Подход к моделированию нестационарного трафика

Данный подход позволил разработать модель адаптивного мультиплексирования однородного нестационарного трафика, которая представляет собой граф переходов состояний случайного марковского процесса, который изображен на рис. 4. 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.

Сочетание моделей приоритетного обслуживания и ММПП позволяет построить обобщенную модель мультиплексирования мультисервисного трафика, приведенную на рис. 5, которая отличается от известных учетом нестационарности входящих информационных потоков и приоритетов в обслуживании.

Приоритеты и разнородность трафика учитываются по осям x и y , изменение интенсивности трафика (нестационарность) – по оси z .



K – канальная емкость мультиплексора, выделяемая для передачи группового потока уплотненного трафика;
 B – объем памяти буфера обмена мультиплексора выделенной для обслуживания входящего трафика;
 N – количество источников трафика;
 λ – интенсивность поступления пакетов в мультиплексор;
 μ – интенсивность уплотнения пакетов в мультиплексоре;
 α – интенсивность включения источников трафика;
 β – интенсивность выключения источников трафика.

X – ось активности абонентов;
 Y – ось обслуживания трафика.

Рисунок 4. Модель адаптивного мультиплексирования однородного, нестационарного трафика от группового источника

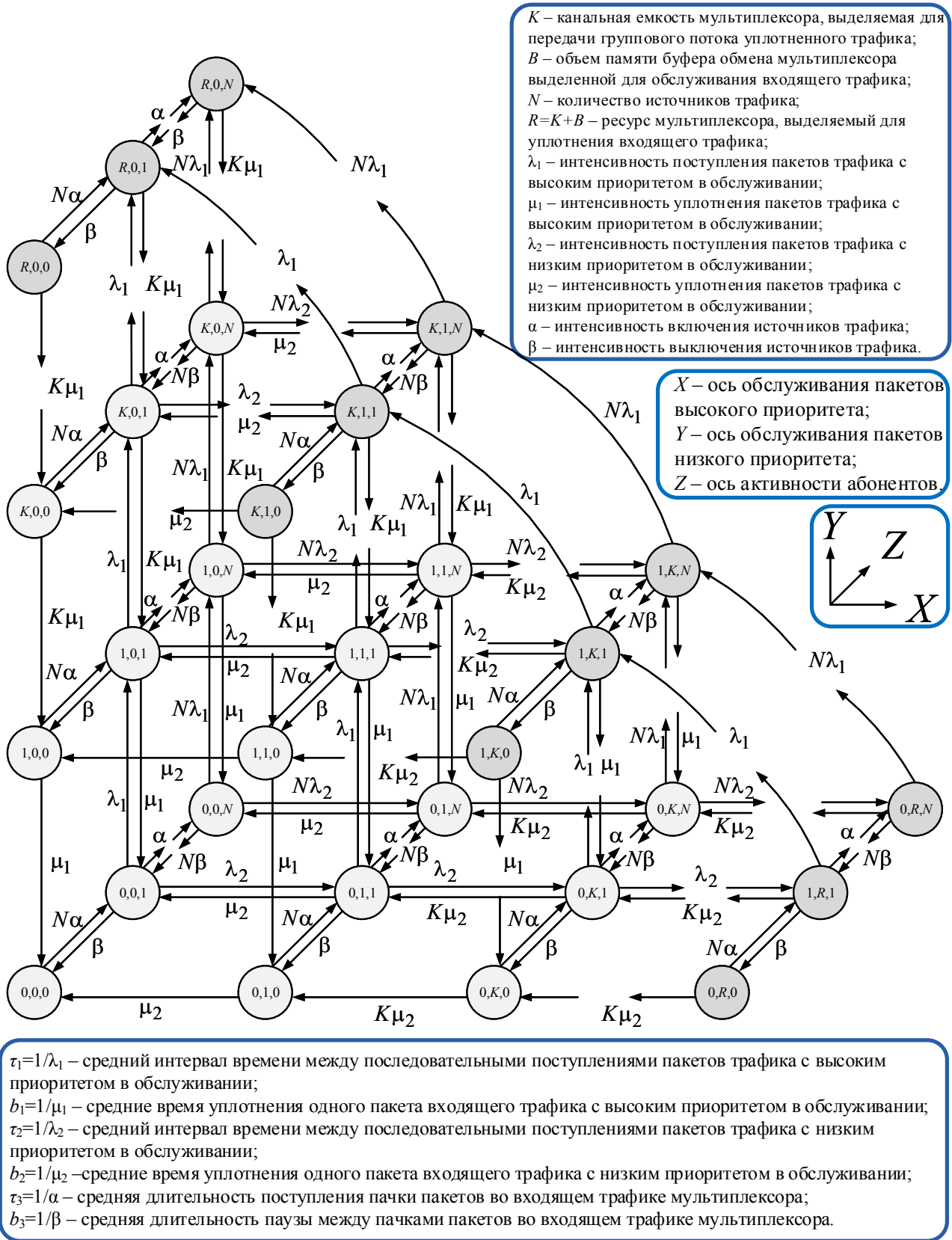


Рисунок 5. Обобщенная модель адаптивного мультиплексирования мультисервисного трафика

Использование разработанных моделей позволяет рассчитать вероятности стационарных состояний случайного марковского процесса, моделирующего

работу адаптивного мультиплексора и оценить вероятностно-временные характеристики (ВВХ) качества обслуживания мультисервисного трафика. Методика расчета указанных характеристик состоит из 4 этапов.

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

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2)p_{i,j,k} = \mu_2 p_{i,j,k+1} + \mu_1 p_{i+1,j,k}, i = 0, j = 0, k = 0 \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + j\mu_2)p_{i,j,k} = j\lambda_2 p_{i,j,k-1} + \mu_1 p_{i+1,j,k} + j\mu_2 p_{i+1,j,k}, i = 1, 1 \leq j \leq R, k = 0. \\ \dots \\ \sum_{k=0}^N \sum_{i=0}^R \sum_{j=0}^{R-i} p_{i,j,k} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

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

$$\begin{cases} (\lambda_1 + \lambda_2)p_{000} = \mu_2 p_{010} + \mu_1 p_{100} \\ (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)p_{010} = \lambda_2 p_{000} + \mu_1 p_{110} + 2\mu_2 p_{200}. \\ \dots \\ p_{000} + p_{100} + p_{200} + \dots + p_{R,R,N} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Этап 3. Решение системы линейных алгебраических уравнений.

Вводится вектор: $P = [p_z = p_{i,j}, z = \overline{1, Z}]^T \Rightarrow A \times P = B$, где A – $(Z+1)Z$ -мерная матрица интенсивностей переходов; P – Z -мерный вектор ненулевых состояний системы массового обслуживания; B – $(Z+1)$ -мерный вектор правых частей.

Решается матричное уравнение: $P = A' \times B$, где A' – матрица, псевдообратная матрице A , определяемая как $A' = [A^T A]^{-1} = A^T$.

Этап 4. Расчет ВВХ трафика при его мультиплексировании.

Рассчитывается вероятность потери (переполнения буфера мультиплексора) пакетов с высоким и низким приоритетом:

$$P_{п1} = \sum_{k=1}^N p_{i,j,k}, i = R, j = 0; P_{п1} = \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^R p_{i,j,k}, j = R - i. \quad (4)$$

Рассчитывается средняя длина очереди пакетов трафика в памяти буфера адаптивного мультиплексора с высоким и низким приоритетом в обслуживании:

$$q_1 = \sum_{k=0}^N \sum_{i=K+1}^R (i - K) \sum_{j=0}^{R-i} p_{i,j,k}; q_2 = \sum_{k=0}^N \sum_{l=1}^B l \sum_{i=0, j=K+l-i}^{i=K+j, j=1} p_{i,j,k}. \quad (5)$$

Рассчитывается среднее время задержки пакетов с высоким и низким приоритетом в памяти буфера мультиплексора до начала передачи:

$$\begin{aligned}\omega_1 &= \frac{q_1}{[\lambda_1(1 - P_{п1})]}, \\ \omega_2 &= \frac{q_2}{[\lambda_1(1 - P_{п2})]}.\end{aligned}\quad (6)$$

Рассчитывается среднее время задержки с высоким и низким приоритетом при обслуживании в мультиплексоре:

$$\tau_1 = 1/\mu_1; \tau_2 = 1/\mu_2. \quad (7)$$

Рассчитывается среднее время задержки в мультиплексоре с высоким и низким приоритетом:

$$\begin{aligned}T_{31} &= \omega_1 + \tau_1 = \frac{q_1}{[\lambda_1(1 - P_{п1})]} + \frac{1}{\mu_1}, \\ T_{32} &= \omega_2 + \tau_2 = \frac{q_2}{[\lambda_1(1 - P_{п2})]} + \frac{1}{\mu_2}.\end{aligned}\quad (8)$$

Рассчитывается коэффициент мультиплексирования мультиплексора ЗССС (производится методом численного перебора параметров):

$$\rho = \frac{N}{K} \rightarrow \max \begin{cases} P_{п1} \leq P_{треб1}, P_{п2} \leq P_{треб2} \\ T_{31} \leq T_{треб1}, T_{32} \leq T_{треб2} \end{cases}. \quad (9)$$

Таким образом, расчет ВВХ трафика при его мультиплексировании позволяет обоснованно управлять назначением приоритетов в обслуживании в зависимости от статистических характеристик входных потоков и пропускной способности каналов.

Продолжение следует.

Список используемых источников

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания: учебник. М.: Машиностроение. 1979. 432 с.
2. Зиннуров С.Х., Ковальский А.А., Топорков И.С. Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании мультисервисного нестационарного трафика // Известия института инженерной физики. Серпухов. 2016. Т. 1. № 39. С. 37–47.
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. Adas A. Traffic models in broadband networks // IEEE Communication magazine. 1997. Vol. 35. Iss. 7. PP. 82–89.
5. 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.