



УДК 004.7.052

А.З. Меликов, чл.-кор. НАН Азербайджана
Национальная академия авиации
(Азербайджан, АЗ 1045, Баку, 25-й км, пос. Бина,
тел: +994124972600, e-mail: agassi.melikov@rambler.ru),

М.И. Фаттахова, д-р техн. наук, **Г.М. Велиджанова**
Ин-т кибернетики НАН Азербайджана
(Азербайджан, AZ1141 Баку, ул. Ф. Агаева, 9,
e-mail: meri-fattah@mail.ru)

Метод расчета параметров интегральной сотовой сети связи с изолированным разделением каналов*

Предложена новая многопараметрическая схема разделения каналов в интегральной сети сотовой связи. Разработан метод и алгоритм расчета показателей качества обслуживания разнотипных вызовов при использовании этой схемы. Приведены результаты численных экспериментов.

Запропоновано нову багатопараметричну схему поділу каналів в інтегральній сітці сотового зв'язку. Розроблено метод і алгоритм розрахунку показників якості обслуговування викликів різного типу при використанні цієї схеми. Наведено результати чисельних експериментів.

К л ю ч е в ы е с л о в а: интегральная сеть сотовой связи, распределение каналов, алгоритмы расчета параметров качества обслуживания.

Основной проблемой в математической теории телетрафика является проблема разработки эффективных методов расчета и оптимизации характеристик интегральных сотовых сетей связи (ССС) при различных стратегиях доступа (Call Admission Control (CAC)) [1]. Для любой CAC главной функцией является определение правил использования сетевых ресурсов разнотипными вызовами. При этом под ресурсами понимают каналы СССР и буферное пространство. Эти правила необходимы для минимизации конфликтных ситуаций, возникающих вследствие занятия указанных ресурсов, а также для удовлетворения заданных требований к

* Работа выполнена при финансовой поддержке фонда развития науки при Президенте Республики Азербайджан. Грант № EIF-RITN-MQM-2-2013-7 (13)-29/01/1

показателям качества обслуживания (Quality of Service (QoS)) разнотипных вызовов.

В интегральных сотовых сетях связи различают вызовы реального времени (например, вызовы речи, v -вызовы) и нереального (например, вызовы данных, d -вызовы). В них часто используются САС, основанные либо на резервировании ресурсов для вызовов реального времени, либо на ограничении доступа вызовов нереального времени введением верхнего предела на их количество в соте [2, 3]. В этих САС все каналы соты в равной степени доступны для вызова любого типа. В то же время, совместное использование всего пула каналов соты в таких сетях часто приводит к неоправданному ухудшению показателей QoS вызовов с низкими интенсивностями, так как вызовы с высокими интенсивностями почти полностью занимают каналы.

Для уменьшения возможности возникновения конфликтных ситуаций эффективными являются стратегии доступа, основанные на схемах разделения всего пула каналов между разнотипными вызовами. Анализ литературы свидетельствует о том, что модели интегральных ССС с такими стратегиями доступа недостаточно исследованы. В этой связи заметим, что неизолированные схемы разделения каналов в ССС с одним трафиком предложены в работах [4; 5, с.18, 19]. Особенность этих схем состоит в том, что в них используется виртуальное разделение каналов. Поскольку полное (изолированное) разделение каналов (Complete Partitioning (CP)) является простым и удобным в практической реализации [6], эти схемы наиболее часто используются в реальных сетях.

Стратегия доступа. Базовая станция изолированной соты интегральной сети имеет $N > 1$ радиоканалов. Весь пул каналов разделен на две группы: N_v каналов из общего их числа N выделяются только для речевых вызовов, а остальные $N_{vd} = N - N_v$ каналов используются совместно вызовами речи и данных. Следовательно, пул из N каналов делится на две зоны: индивидуальную зону из N_v каналов (v -зона только для v -вызовов) и общую зону из N_{vd} каналов (vd -зона для v - и d -вызовов). Изолированность каналов означает, что ни один канал не может быть переведен из одной зоны в другую.

В соте обрабатываются четыре пуассоновых потока вызовов: кроме новых вызовов речи (ov -вызовы) и новых вызовов данных (od -вызовы) имеются хэндовер вызовы речи (hv -вызовы) и данных (hd -вызовы). Интенсивность x -вызовов обозначим λ_x , $x \in \{hv, ov, hd, od\}$.

Функции распределения времени занятия каналов разнотипными вызовами являются экспоненциальными и среднее время занятия канала для одного речевого вызова (нового или хэндовер) равно $1/\mu_v$, а соответствующую

щий показатель для вызовов данных (новых или хэндовер) равен $1/\mu_d$. Идентичность средних времен занятия каналов новых и хэндовер вызовов обоих типов объясняется отсутствием последствия экспоненциального распределения.

Рассмотрим стратегии доступа разнотипных вызовов при использовании предложенной схемы разделения каналов.

Доступ v-вызовов. Если в момент поступления ov -вызова имеется хотя бы один свободный канал в v -зоне, то ov -вызов занимает любой свободный канал этой зоны. В противном случае этот вызов теряется (получает отказ). Если в момент поступления hv -вызова имеется хотя бы один свободный канал в v -зоне, то hv -вызов занимает любой свободный канал этой зоны. Иначе свободный канал находится в vd -зоне, при этом имеется ограничение на максимальное число v -вызовов в этой зоне, т.е. максимальное число hv -вызовов в vd -зоне равно R_{hv} , $1 \leq R_{hv} \leq N_{vd}$. Следовательно, если в момент поступления hv -вызова все каналы v -зоны заняты и максимальное число v -вызовов в vd -зоне равно R_{hv} , то вызов теряется. Заметим, что функция распределения времени занятия канала hv -вызовом в vd -зоне также является экспоненциальной со средним временем $1/\mu_v$.

Доступ d-вызовов. Если в момент поступления hd -вызова имеется хотя бы один свободный канал в vd -зоне, то этот вызов принимается для обработки, иначе он теряется. Если поступивший вызов относится к классу od -вызовов, то он получает доступ к каналу лишь тогда, когда общее число d -вызовов в этой зоне меньше величины R_{od} , $1 \leq R_{od} \leq N_{vd} - 1$, в противном случае od -вызов теряется.

Основными показателями QoS разнотипных вызовов при использовании данной схемы разделения каналов являются вероятности их потери. Проблема состоит в нахождении этих параметров. Рассмотрим метод ее решения.

Метод расчета. Согласно предложенной схеме разделения каналов вероятность потери новых вызовов речи P_{ov} можно определить как вероятность потери вызовов в классической модели Эрланга $M/M/N_v/0$ с нагрузкой $v_v \text{ erl}$, где $v_v = (\lambda_{ov} + \lambda_{hv})/\mu_v$. Для вычисления этого параметра может быть использована известная B -формула Эрланга

$$P_{ov} = E_B(v_v, N_v), \quad (1)$$

где $E_B(v, N) = \frac{v^N / N!}{\sum_{k=0}^N v^k / k!}$. Однако вероятность потери хэндовер вызовов

речи P_{hv} не может быть определена по формуле (1), так как, не получив доступа в v -зону, эти вызовы при определенных условиях направляются в

vd -зону. Поскольку вероятность потери hv -вызовов в v -зоне также определяется по формуле (1), интенсивность $\hat{\lambda}_{hv}$ поступления hv -вызовов в vd -зону определяется так: $\tilde{\lambda}_{hv} = \lambda_{hv} P_{od}$.

Следовательно, для определения остальных трех показателей QoS необходимо исследовать модели Эрланга $M/M/N_{vd}/0$ с тремя типами вызовов: hv -вызовы (с интенсивностью $\tilde{\lambda}_{hv}$), od -вызовы (с интенсивностью λ_{od}) и hd -вызовы (с интенсивностью λ_{hd}). Поскольку разнотипные вызовы имеют различное время обработки, состояние этой системы в произвольный момент времени определяется двумерным вектором $\mathbf{n} = (n_d, n_v)$, где n_v и n_d — соответственно число hv -вызовов и суммарное число d -вызовов в каналах. При этом фазовое пространство состояний (ФПС) соответствующей двумерной цепи Маркова имеет вид

$$S = \{\mathbf{n} : n_d = 0, 1, \dots, N_{vd}; n_v = 0, 1, \dots, R_{hv}; n_d + n_v \leq N_{vd}\}. \quad (2)$$

На основании предложенной стратегии доступа разнотипных вызовов в vd -зону неотрицательные элементы инфинитезимальной матрицы (Q -матрицы) данной цепи Маркова, $q(\mathbf{n}, \mathbf{n}')$, $\mathbf{n}, \mathbf{n}' \in S$, определяем из следующих соотношений:

$$q(\mathbf{n}, \mathbf{n}') = \begin{cases} \lambda_d, & \text{если } n_d < N_{od}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \lambda_{hd}, & \text{если } n_d \geq N_{od}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \\ \tilde{\lambda}_{hv}, & \text{если } n_v < R_{hv}, \mathbf{n}' = \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \\ n_d \mu_d, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_1, \\ n_v \mu_v, & \text{если } \mathbf{n}' = \mathbf{n} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (3)$$

где $\lambda_d := \lambda_{od} + \lambda_{hd}$; $\mathbf{e}_1 = (1, 0)$, $\mathbf{e}_2 = (0, 1)$. Нетрудно убедиться в том, что данная конечномерная цепь — неприводимая и имеет стационарный режим.

Пусть $p(\mathbf{n})$ — стационарная вероятность состояния $\mathbf{n} \in S$. Искомые показатели QoS соты определяются как соответствующие маргинальные распределения данной двумерной цепи. Поскольку hv -вызовы теряются в ситуациях, описанных выше, для вычисления вероятности их потери используем следующую формулу:

$$P_{hv} = \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) (\delta(n_v, R_{hv}) (1 - \delta(n_d + n_v, N_{vd})) + (1 - \delta(n_v, R_{hv})) \delta(n_d + n_v, N_{vd})), \quad (4)$$

где $\delta(i, j)$ — символы Кронекера. Аналогично находим вероятности потери *od*-вызовов P_{od} и *hd*-вызовов P_{hd} :

$$P_{od} = \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) I(n_d \geq R_{od}), \quad (5)$$

$$P_{hd} = \sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) \delta(n_d + n_v, N_{vd}), \quad (6)$$

где $I(A)$ — индикаторная функция события A .

Для нахождения показателей качества обслуживания (4)—(6) потребуется вычисление вероятностей состояний системы $p(\mathbf{n})$, $\mathbf{n} \in S$, удовлетворяющих соответствующей системе уравнений глобального равновесия (СУГР). С учетом (3) указанная СУГР имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & (\lambda_d I(n_d < R_{od}) + \lambda_{hd} I(R_{od} \leq n_d < N_{vd}) + \tilde{\lambda}_{hv} I(n_v < R_{hv}) + \\ & + n_d \mu_d + n_v \mu_v) p(\mathbf{n}) = \lambda_d p(\mathbf{n} - \mathbf{e}_1) I(0 < n_d \leq R_{od}) + \\ & + \lambda_{hd} p(\mathbf{n} - \mathbf{e}_1) I(R_{od} < n_d \leq N_{vd}) + \tilde{\lambda}_{hv} p(\mathbf{n} - \mathbf{e}_2) I(n_v > 0) + \\ & + (n_d + 1) \mu_d p(\mathbf{n} + \mathbf{e}_1) I(n_d < N_{vd}) + \mu_v p(\mathbf{n} + \mathbf{e}_1) I(n_v < R_{hv}) \end{aligned} \quad (7)$$

при условии нормировки

$$\sum_{\mathbf{n} \in S} p(\mathbf{n}) = 1. \quad (8)$$

Следует заметить, что размерность системы уравнений (7), (8) определяется размерностью ФПС (2). Следовательно, для моделей большой размерности ее решение связано с известными вычислительными трудностями. Однако эту проблему можно решить, минуя решение указанной СУГР.

Утверждение. Стационарное распределение вероятностей состояний модели при использовании СР-схемы разделения каналов имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & p(i, j) = \\ & \begin{cases} \frac{v_d^i}{i!} \frac{\tilde{v}_{hv}^j}{j!} p(0, 0), & \text{если } 0 \leq i \leq R_{od}, 0 \leq j \leq \min(R_{hv}, N_{vd} - i), \\ \left(\frac{v_d}{v_{hd}}\right)^{R_{od}} \frac{v_{hd}^i}{i!} \frac{\tilde{v}_{hv}^j}{j!} p(0, 0), & \text{если } R_{od} + 1 \leq i \leq N_{vd}, 0 \leq j \leq \min(R_{hv}, N_{vd} - i), \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

где $p(0, 0)$ находится из условия нормировки (8); $v_d = \lambda_d / \mu_d$; $v_{hd} = \lambda_{hd} / \mu_d$; $\tilde{v}_{hv} = \tilde{\lambda}_{hv} / \mu_v$.

Для доказательства справедливости этого утверждения составим систему уравнений локального равновесия (СУЛР) относительно соотношения (7) и покажем, что (9) является решением СУЛР и, следовательно, СУГР. Запишем СУЛР в следующем виде:

$$q(\mathbf{n}, \mathbf{n}') p(\mathbf{n}) = q(\mathbf{n}', \mathbf{n}) p(\mathbf{n}'), \mathbf{n}, \mathbf{n}' \in S. \quad (10)$$

Используя (3), представим СУЛР (10) в явном виде. Так, для любых двух возможных состояний типа $\mathbf{n}, \mathbf{n} + \mathbf{e}_1 \in S$, в случае $n_d \leq R_{od} - 1$ получим

$$\lambda_d p(n_d, n_v) = (n_d + 1) \mu_d p(n_d + 1, n_v). \quad (11)$$

Теперь можно убедиться, что (9) является решением СУЛР (11). Действительно, согласно первой строке (9)

$$p(n_d + 1, n_v) = \frac{v_d^{n_d + 1}}{(n_d + 1)!} \frac{\tilde{v}_v^{n_v}}{n_v!} p(0, 0). \quad (12)$$

Тогда из выражений (9), (11), (12) получим

$$\frac{p(n_d + 1, n_v)}{p(n_d, n_v)} = \frac{v_d}{n_d + 1} = \frac{\lambda_d}{(n_d + 1) \mu_d},$$

откуда следует, что (9) является решением системы уравнений типа (11).

Уравнение локального баланса для состояний типа $\mathbf{n}, \mathbf{n} + \mathbf{e}_1 \in S$, в случае $n_d \geq R_{od}$ имеет следующий вид:

$$\lambda_{hd} p(n_d, n_v) = (n_d + 1) \mu_d p(n_d + 1, n_v). \quad (13)$$

В этом случае также можно показать, что вторая строка (9) является решением (13). Аналогично доказывается и тот факт, что (9) является решением СУЛР для любых двух возможных состояний типа $\mathbf{n}, \mathbf{n} + \mathbf{e}_2 \in S$. Следовательно, (9) является решением СУГР (7), (8).

Нахождение явного вида мультипликативного решения (9) основано на теореме Колмогорова [7] об обратимости двумерных цепей Маркова. Действительно, применив эту теорему, можно показать, что в данной цепи существует нулевая циркуляция между ее состояниями типа $\mathbf{n}, \mathbf{n} + \mathbf{e}_1, \mathbf{n} + \mathbf{e}_2, \mathbf{n} + \mathbf{e}_1 + \mathbf{e}_2$, т.е. удовлетворяется условие локального баланса. Тогда, выбирая путь $(0, 0), (1, 0), \dots, (i, 0), (i, 1), \dots, (i, j)$ между состояниями $(0, 0)$ и (i, j) , убедимся, что мультипликативное решение (9) верно.

Таким образом, для вычисления показателей QoS (4)—(6) предлагается следующий алгоритм:

1. Вычислить

$$p(0,0) = \left(\sum_{i=0}^{R_{od}} \sum_{j=0}^{\min(R_{hv}, N_{vd}-i)} \frac{v_d^i \tilde{v}_{hv}^j}{i! j!} + \left(\frac{v_d}{v_{hd}} \right)^{R_{od}} \sum_{i=R_{od}+1}^{N_{vd}} \sum_{j=0}^{\min(R_{hv}, N_{vd}-i)} \frac{v_{hd}^i \tilde{v}_{hv}^j}{i! j!} \right)^{-1}.$$

2. Для $i = 0, 1, \dots, R_{od}$ и $j = 0, 1, \dots, \min(R_{hv}, N_{vd} - i)$ вычислить

$$p(i, j) = \frac{v_d^i \tilde{v}_{hv}^j}{i! j!} p(0, 0).$$

3. Для $i = R_{od} + 1, \dots, N_{vd}$ и $j = 0, 1, \dots, \min(R_{hv}, N_{vd} - i)$ вычислить

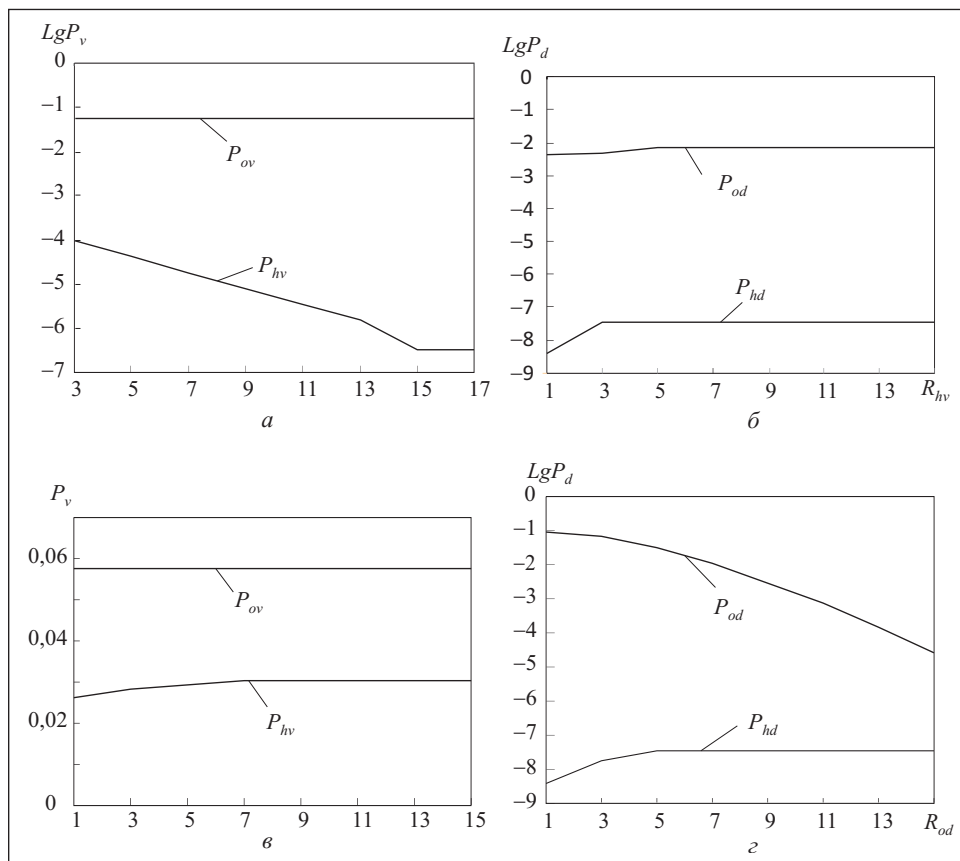
$$p(i, j) = \left(\frac{v_d}{v_{hd}} \right)^{R_{od}} \frac{v_{hd}^i \tilde{v}_{hv}^j}{i! j!} p(0, 0).$$

4. Вычислить показатели QoS:

$$\begin{aligned} P_{hv} &= \sum_{i=0}^{N_{vd}-R_{hv}} p(i, R_{hv}) + \sum_{i=N_{vd}-R_{hv}+1}^{N_{vd}} p(i, N_{vd} - i), \\ P_{od} &= I(R_{od} \leq N_{vd} - R_{hv}) \sum_{i=R_{od}}^{N_{vd}} \sum_{j=0}^{\min(R_{hv}, N_{vd}-i)} p(i, j) + \\ &+ I(R_{od} > N_{vd} - R_{hv}) \left(\sum_{i=N_{vd}-R_{hv}}^{R_{od}-1} p(i, N_{vd} - i) + \sum_{i=R_{od}}^{N_{vd}} \sum_{j=0}^{N_{vd}-i} p(i, j) \right), \\ P_{hd} &= \sum_{i=N_{vd}-R_{hv}}^{N_{vd}} p(i, N_{vd} - i). \end{aligned}$$

Численные результаты. Разработанный алгоритм позволяет изучить поведение показателей QoS относительно изменения структурных и нагрузочных параметров модели соты при использовании предложенной СР-схемы разделения каналов. Однако здесь приведем лишь анализ показателей QoS изучаемой модели относительно изменения параметров предложенной схемы разделения каналов. При этом структурные и нагрузочные параметры модели будем считать фиксированными, т.е. число каналов в каждой зоне фиксировано, а варьируются параметры R_{hv} и R_{od} .

Исходные данные модели следующие [8]: $N = 30$, $\lambda_{ov} + \lambda_{hv} = 0,15$ вызов/с; $\lambda_{od} + \lambda_{hd} = 0,3$ вызов/с; $\mu_v^{-1} = 2$ с; $\mu_d^{-1} = 120$ с. Предполагается, что $N_v = 12$, $N_{vd} = 18$ и 30 % всего трафика речевых вызовов составляют хэндовер вызовы речи, а 80 % трафика составляют новые данные.



Графики зависимости показателей QoS от параметров R_{hv} (а, б) и R_{od} (в, г)

На рисунках а, б показаны зависимости показателей QoS от изменения параметра R_{hv} при $R_{od} = 9$. Поскольку вероятность потери новых вызовов речи определяется по В-формуле Эрланга и не зависит от указанного параметра, функция $P_{B_{ov}}$ является постоянной, а функция $P_{B_{hv}}$ — убывающей относительно параметра R_{hv} , так как с увеличением значений этого параметра увеличиваются шансы хэндовер вызовов речи для принятия на обработку. Следует заметить, что функция $P_{B_{hv}}$ — почти кусочно-линейная и убывает с достаточно большой скоростью, особенно при малых значениях параметра R_{hv} (см. рисунок а).

Оба показателя QoS для вызовов данных являются неубывающими функциями относительно изменения параметра R_{hv} (см. рисунок б) и почти постоянными при больших значениях указанного параметра. Это объясняется тем, что для исследуемой модели интенсивность вызовов речи су-

щественно меньше интенсивности вызовов данных, а интенсивность обработки вызовов данных существенно больше интенсивности вызовов речи.

На рисунках *в*, *г* приведены зависимости показателей QoS от изменения параметра R_{od} при $R_{hv} = 9$. В этом случае функция PB_{ov} — постоянная, а функция PB_{hv} — неубывающая, так как увеличение значений параметра R_{od} приводит к уменьшению шансов принятия hv -вызовов для обработки в vd -зону (см. рисунок *в*). Скорость изменения функции PB_{hv} существенно уменьшается с увеличением значений параметра R_{od} . В данном случае функция PB_{od} убывает с достаточно большой скоростью при малых значениях параметра R_{od} , а функция PB_{hd} уменьшается достаточно медленно, особенно при больших значениях этого параметра (см. рисунок *г*).

Выводы

Предложенная схема разделения каналов в интегральных ССС, в которых осуществляется обработка речевых вызовов и вызовов данных, а также результаты решения задачи расчета показателей QoS системы при заданных значениях числа каналов, нагрузок разнотипных вызовов и параметров введенной схемы могут быть использованы для определения значений параметров предложенной схемы, удовлетворяющих заданный уровень качества обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Schneps-Schneppe M., Iversen V.B. Call admission control in cellular networks // Mobile Networks. Ed. J. H. Ortiz. — InTech, 2012. — P. 111—136.
2. Меликов А.З., Пономаренко Л.А., Ким Ч.С. Численное исследование многопороговой стратегии доступа в мультисервисных беспроводных сетях сотовой связи // Кибернетика и системный анализ. — 2009. — 45, № 5. — С. 13—24.
3. Ох Я.Дж., Ким Ч.С., Меликов А.З., Фаттахова М.И. Численный анализ многопараметрической стратегии доступа в мультисервисных беспроводных сотовых сетях связи // Автоматика и телемеханика. — 2010. — 71, № 12. — С. 70—85.
4. Меликов А.З., Фаттахова М.И., Бабаев А.Т. Исследование сотовых сетей связи с индивидуальными каналами для обслуживания хэндовер-вызовов // Автоматика и вычислительная техника. — 2005. — 39, № 3. — С. 71—81.
5. Ponomarenko L., Kim C.S., Melikov A. Performance analysis and optimization of multi-traffic on communication networks. — Heidelberg: Springer, 2010.
6. Feng W., Kowada M. Performance analysis of wireless mobile networks with queueing priority and guard channels // International Transactions in Operational Research. — 2008. — Vol. 15. — P. 481—508.
7. Kelly F.P. Reversibility and stochastic networks. — N Y: John Wiley & Sons, 1979.
8. Carvalho G.H.S., Martins V.S., Frances C.R.L. et al. Performance analysis of multi-service wireless network: An approach integrating CAC, scheduling, and buffer management // Computers & Electrical Engineering. — 2008. — Vol. 34. — P. 346—356.

A.Z.Melikov, M.I.Fattakhova, G.M.Velidjanova

METHOD TO CALCULATE THE PARAMETERS
OF INTEGRAL CELLULAR COMMUNICATION NETWORKS
WITH ISOLATED PARTITION OF CHANNELS

A scheme for isolated partition of channels in the integral cellular network where voice and data calls are processed is proposed. In accordance to the proposed scheme the voice calls require a free channel in their own zone and, if all channels in this zone are occupied, a free channel in another zone might be assigned only for handover voice calls. There is a threshold parameter for the number of handover voice calls in the zone for data calls. To determine the rule for access of data calls a cutoff scheme for new data calls is used. It is shown that the adequate model of this system is two-dimensional finite Markov chain. The state of space of the system is defined and a system of equilibrium equations is developed. It is proved that this system of equations has analytical solution in multiplicative form. An algorithm to calculate quality of service metrics of the proposed partition scheme based on given multiplicative solution is created. Results of numerical experiments are presented.

Key words: integral cellular communication networks, channels partition, algorithms to calculate the quality of service metrics.

REFERENCES

1. Schneps-Schneppe M., Iversen V.B. Call admission control in cellular networks // Mobile Networks. Ed. J.H. Ortiz. — InTech., 2012. — P. 111—136.
2. Melikov A.Z., Ponomarenko L.A., Kim C.S. Numerical investigation of a multi-threshold access strategy in multiservice cellular networks // Cybernetics and System Analysis. — 2009. — Vol. 45, № 5. — P. 13—24 (in Russian).
3. Oh Y.J., Kim C.S., Melikov A.Z., Fattakhova M.I. Numerical analysis of multi-parameter strategy of access in multiservice wireless cellular networks // Automation and Remote Control. — 2010. — Vol. 71, № 12. — P. 70—85 (in Russian).
4. Melikov A.Z., Fattakhova M.I., Babayev A.T. Investigation of cellular communication networks with private channels for servicing of handover calls // Automatic Control and Computer Sciences. — 2005. — Vol. 39, № 3. — P. 71—81 (in Russian).
5. Ponomarenko L., Kim C.S., Melikov A. Performance Analysis and Optimization of Multi-traffic on Communication Networks. — Heidelberg: Springer, 2010.
6. Feng W., Kowada M. Performance analysis of wireless mobile networks with queueing priority and guard channels // International Transactions in Operational Research. — 2008. — Vol. 15. — P. 481—508.
7. Kelly F. P. Reversibility and Stochastic Networks. — N Y : John Wiley & Sons, 1979.
8. Carvalho G.H.S., Martins V.S., Frances C.R.L., et al. Performance analysis of multi-service wireless network: An approach integrating CAC, scheduling, and buffer management // Computers & Electrical Engineering. — 2008. — Vol. 34. — P. 346—356.

Поступила 11.02.14;
после доработки 07.03.14

МЕЛИКОВ Агаси Зарбали оглы, чл.-кор. НАН Азербайджана, профессор, зав. кафедрой «Информационные технологии» Национальной академии авиации Азербайджана. В 1977 г. окончил Бакинский госуниверситет. Область научных исследований — моделирование коммуникационных сетей, анализ и оптимизация систем и сетей массового обслуживания.

ФАТТАХОВА Мехрибан Иса кызы, д-р техн. наук, доцент, вед. науч. сотр. Ин-та кибернетики НАН Азербайджана. В 1991 г. окончила Бакинский госуниверситет. Область научных исследований — коммуникационные сети, теория телетрафика, численные методы.

ВЕЛИДЖАНОВА Гюльнара Мамедага кызы, науч. сотр. Ин-та кибернетики НАН Азербайджана. В 1993 г. окончила Азербайджанский инженерно-строительный университет. Область научных исследований — теория систем и сетей массового обслуживания, теория телетрафика.

