

УДК 681.3.06.(075.8)

**В.Я. Воропаева (канд. техн. наук, доц.), А.С. Красикова (магистрант)**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

кафедра автоматики и телекоммуникаций

E-mail: [voropayeva@donntu.edu.ua](mailto:voropayeva@donntu.edu.ua), [anutack90@yandex.ru](mailto:anutack90@yandex.ru)

## ПОЛУЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГРУЗКИ ЯЧЕЙКИ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ HSDPA

*На основании математического описания энергетико-скоростных соотношений для радиointерфейса UMTS, проведена оптимизация коэффициента загрузки ячейки HSDPA при помощи метода Хука-Дживса.*

**Ключевые слова:** радиointерфейс, базовая станция, коэффициент загрузки ячейки, пользователи, мощность, оптимизация.

### Общая постановка проблемы

В последнее время наблюдается взрывообразный рост потребления ИТ-услуг, особенно в секторе мобильной связи. По данным компании Ericsson [1] «количество абонентов сотовой связи в мире составляет 6 миллиардов», хотя число активных пользователей не превышает 4 миллиардов. Не удивительно, что операторы сотовой связи стремятся не просто внедрять новые технологии (3G, 4G), но использовать оптимальные подходы при проектировании и эксплуатации своих сетей для минимизации затрат при соблюдении нормативов качества предоставляемых услуг [2].

Задача проектирования и оптимизации сети сотовой связи (ССС) решается в несколько этапов: предварительное планирование, детальное планирование и планирование транспортной сети [3]. В ходе предварительного этапа создается начальный план разворачивания сети с указанием покрытия, емкости, параметров качества связи. При этом могут выполняться дополнительные процедуры по оптимальной кластеризации СССР, дающие возможность адаптации к изменениям условий спроса на услуги (интенсивности трафика) в каждой точке проектируемой сети [4]. На следующем этапе решаются задачи планирования радиосети и системы коммутации сети. На последнем этапе разрабатывается трансмиссия СССР (Cellular Transmission Network), обеспечивающая взаимодействие между всеми узлами сети (базовыми станциями, базовыми контроллерами, центром коммутации). На каждом из этих этапов для улучшения качества всей сети, воспринимаемого мобильными абонентами, и гарантии того, что ресурсы сети используются эффективно, следует выполнять структурную и параметрическую оптимизацию СССР. Данный подход справедлив как для СССР II поколения, так и для сетей 2,5 и 3G, в частности — UMTS.

UMTS (англ. Universal Mobile Telecommunications System — Универсальная Мобильная Телекоммуникационная Система) — технология третьего поколения сотовой связи, которая разработана Европейским Институтом Стандартов Телекоммуникаций (ETSI).

В настоящее время для UMTS определены три основные технологии доступа [5]:

- 1) широкополосный многостанционный доступ с кодовым разделением каналов WCDMA и его варианты;
- 2) радиодоступ глобальной системы мобильной связи с передачей данных GSM / EDGE, появившийся в процессе эволюции GSM и послуживший основой для стандарта 3GPP R99;

- 3) дополнительный доступ — доступ по беспроводной локальной вычислительной сети WLAN.

Следует отметить, что уже на этапе предварительного планирования сети UMTS необходимо учитывать особенности ее радиointерфейса, который, имеет целый ряд принципиальных отличий от радиointерфейса GSM, прежде всего, в области энергетико-скоростных характеристик. Анализ [6] показывает, «что с этой точки зрения главной особенностью радиointерфейса UMTS является ярко выраженный динамический характер изменения энергетико-скоростных соотношений в радиосети со сбалансированным энергетическим ресурсом».

При выборе вида услуг и модели радиоканала существует граница допустимого количества пользовательских каналов. Эту границу устанавливает коэффициент загрузки, который задает допустимый уровень внутрисистемных помех, как от собственной ячейки, так и от соседних ячеек. С одной стороны, уровень внутрисистемных помех зависит от степени загрузки ячейки сети, а с другой стороны, определяет размер зоны обслуживания, требуя дополнительного энергетического ресурса для компенсации этих помех.

Таким образом, оптимизация коэффициента загрузки сети UMTS играет важную роль при распределении полной мощности базовой станции с учетом различных значениях соотношения сигнал/шум на входе приемников пользователей.

#### Постановка задач исследования

Для исследования и оптимизации параметров радиointерфейса сети UMTS необходимо решить следующие задачи:

1. Получить математическое описание энергетико-скоростных соотношений для радиointерфейса UMTS.
2. Определить целевую функцию для оптимизации коэффициента загрузки ячейки сети.
3. Получить оптимальные значения коэффициента загрузки с учетом особенностей энергетических соотношений HSDPA.

#### Решение задач и результатов исследования

Технология HSDPA принадлежит к семейству решений, использующих пакетную передачу данных. Физически, HSDPA является «надстройкой» к сетям UMTS/WCDMA, поэтому нередко ее называют 3,5 G. Для достижения высокой пропускной способности и снижения времени задержки система доступа HSDPA использует адаптивные методы модуляции и кодирования AMC, а также гибридную автоматическую систему повторения запросов HARQ в сочетании со скоростным планированием и процедурой изменения сот.

Особенности энергетико-скоростных соотношений для радиointерфейса UMTS/HSDPA исследовал Скрынников В. Г. в [6]. В своей работе он получил зависимость количества пользовательских каналов в радиointерфейсе HSDPA от полной мощности базовой станции:

$$N = \frac{0,35 \cdot P_{\Sigma} (1 - \eta_{DL}) G_{BS}}{P_N L(d)} \left[ \frac{16}{(E_b/N_0)\nu} + \alpha \right] \quad (1)$$

Выражение (1) описывает случай, когда не вся мощность излучения базовой станции UMTS выделена для высокоскоростных каналов HSDPA. Согласно энергетическому бюджету нисходящего канала для HSDPA выделяется до 35% от полной мощности базовой станции. Представим выражение (1) в следующем виде:

$$\eta_{DL} = 1 - \frac{NP_N L(d)}{\left[ \frac{16}{(E_b/N_0)\nu} + \alpha \right] \cdot 0,35 \cdot P_\Sigma \cdot G_{BS}}, \quad (2)$$

где  $\eta_{DL}$  — коэффициент загрузки ячейки;  
 $\nu$  — коэффициент активности абонента;  
 $\alpha$  — коэффициент ортогональности кода канала;  
 $P_N$  — мощность шума в приемнике пользователя;  
 $P_\Sigma$  — суммарная мощность излучения базовой станции;  
 $G_{BS}$  — коэффициент усиления антенн базовой станции;  
 $E_b/N_0$  — отношение сигнал/шум на входе приемника пользователя;  
 $L(d)$  — потери на трассе распространения сигнала,  $d$  — радиус соты;  
 $N$  — количество пользовательских каналов;  
 $G_p = 16$  — коэффициент расширения спектра сигнала; 0.35 — выделено 35% от полной мощности базовой станции для стандарта HSDPA.

На количество допустимых пользовательских каналов  $N_b$  ячейке накладываются определенные ограничения, обусловленные необходимостью соблюдения баланса между требуемым энергетическим ресурсом для каналов с конкретными характеристиками и возникающими внутрисистемными помехами. Именно коэффициент загрузки ячейки сети количественно определяет допустимый уровень внутрисистемных помех в радиоканалах стандарта HSDPA, задавая требуемый запас по энергетике на компенсацию этих помех. Физически коэффициент  $\eta_{DL}$  характеризует степень превышения теплового шума в приемнике внутрисистемными помехами [6], поэтому оптимизация данного параметра является важной задачей этапа предварительного планирования сети UMTS.

При решении задачи оптимизации в качестве целевой функции возьмем выражение (2), при этом изменяемыми параметрами будут полная мощность базовой станции и отношение сигнал/шум на входе приемника пользователя. Для получения адекватных результатов необходимо соблюдать следующие условия:

1. Коэффициент загрузки ячейки должен принимать значения от 0 до 1.
2. Минимальная полная мощность базовой станции — 5 Вт. Причиной этого является значительное сокращение радиуса обслуживания станции и сильное уменьшение количества пользовательских каналов. Так при радиусе ячейки равном 2 км значения пользовательских каналов:
  - при  $\eta_{DL} = 0,9$  количество пользовательских каналов равно 0;
  - при  $\eta_{DL} = 0,75$  количество пользовательских каналов равно 1;
  - при  $\eta_{DL} = 0,5$  количество пользовательских каналов равно 2;
  - при  $\eta_{DL} = 0,2$  количество пользовательских каналов равно 3.

Максимальная полная мощность базовой станции — 20 Вт. Согласно энергетическому бюджету трафикового нисходящего канала для HSDPA максимальная полная мощность базовой станции составляет 43 дБм  $\approx$  20Вт.

3. Минимальное значение отношения сигнал/шум — 3 Вт. При модуляции 16QAM вероятность ошибки составляет  $\approx 0.4$ , что является плохим показателем качества обслуживания абонентов.

Для оптимизации коэффициента загрузки ячейки сети UMTS воспользуемся прямым методом Хука-Дживса, который характеризуется несложной стратегией поиска, относительной простотой исчисления и отсутствием производных. Это один из алгоритмов,

в котором при определении нового направления поиска учитывается информация, полученная на предыдущих итерациях [7].

Алгоритм работы метода Хука-Дживса:

А. Выбирается начальная базовая точка  $b_1$  и шаг длиной  $h$  для каждой переменной  $x_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Б. Вычисляется  $f(x)$  в базисной точке  $b_1$  следующим образом:

1. Вычисляется значение функции  $f(b_1)$  в базисной точке  $b_1$ .

2. Каждая переменная по очереди изменяется прибавлением длины шага. Таким образом, вычисляется значение функции  $f(b_1 + h_1 e_1)$ , где  $e_1$  — единичный вектор в направлении оси  $x_1$ . Если это приводит к уменьшению значения функции, то  $b_1$  заменяется  $b_1 + h_1 e_1$ . В противном случае вычисляется значение функции  $f(b_1 - h_1 e_1)$ , и если ее значение уменьшилось, то  $b_1$  заменяем на  $b_1 - h_1 e_1$ . Если ни один из перечисленных шагов не приводит к уменьшению значения функции, то точка  $b_1$  остается неизменной и рассматриваются изменения в направлении оси  $x_2$ , т.е. находится значение функции  $f(b_1 + h_2 e_2)$  и т. д. Когда будут рассмотрены все  $n$  переменных, получаем новую базисную точку  $b_2$ .

3. Если  $b_2 = b_1$ , т.е. уменьшение функции не было достигнуто, то исследование повторяется вокруг той же базисной точки  $b_1$ , но с уменьшенной длиной шага в 100 раз от первоначальной длины.

4. Если  $b_2 = b_1$ , то производится поиск по образцу.

В. При поиске по образцу используется информация, полученная в процессе исследования, и минимизация функции завершается поиском в направлении, заданном образцом. Эта процедура производится следующим образом:

1. Производится движение из базисной точки  $b_2$  в направлении  $b_2 - b_1$ , т. к. поиск в этом направлении уже привел к уменьшению значения функции. Поэтому вычисляем функцию в точке образца  $P_1 = b_1 + 2(b_2 - b_1)$ . В общем случае  $P_i = b_i + 2(b_{i+1} - b_i)$ .

2. Затем исследование продолжается вокруг точки  $P_i$ .

3. Если наименьшее значение на шаге (В, 2) меньше значения в базисной точке  $b_2$  (в общем случае  $b_{i+1}$ ), то получаем новую базисную точку  $b_3$  ( $b_{i+2}$ ), после чего повторяется шаг (В, 1). В противном случае не проводят поиск по образцу с точки  $b_2$  ( $b_{i+1}$ ), а продолжают исследовать в точке  $b_2$  ( $b_{i+1}$ ).

Г. Завершается процесс поиска, когда длина шага будет уменьшена до заданного малого значения.

Так как в данном алгоритме необходимо использовать оптимизацию с ограничениями, то при решении задачи целевой функции присваивается очень большое значение там, где ограничения нарушаются. Поэтому каждая точка, полученная в процессе поиска, проверяется на принадлежность ее к области ограничения. В случае принадлежности функция вычисляется обычным путем. В противном случае целевой функции присваивается очень большое значение. Таким образом, поиск будет осуществляться снова в допустимой области по направлению к минимальной точке внутри этой области.

При работе алгоритма в (2) значения параметров радиointерфейса были приняты следующие:  $G_{BS} = 15 \text{ дБ}$ ;  $L(d) = 148,7 \text{ дБ}$ ;  $P_N = -101,2 \text{ дБм}$ ;  $\nu = 1$ ;  $\alpha = 0,5$ ;  $N = 3 \dots 5$ .

В результате оптимизации были получены две зависимости: зависимость коэффициента загрузки ячейки от соотношения сигнал/шум (рис.1) и зависимость коэффициента загрузки ячейки от полной мощности базовой станции (рис. 2).

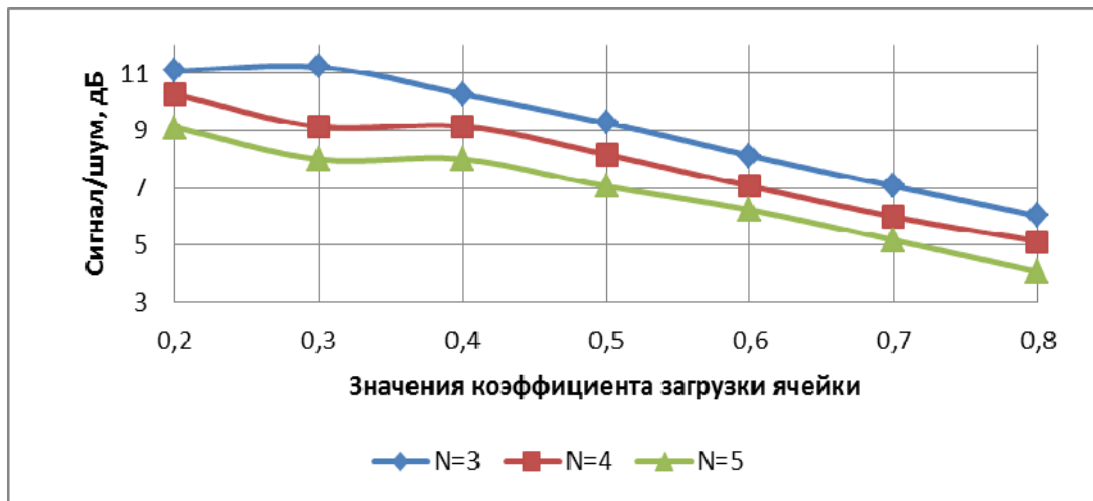


Рисунок 1 — Залежність коефіцієнта завантаження комірки від співвідношення сигнал/шум

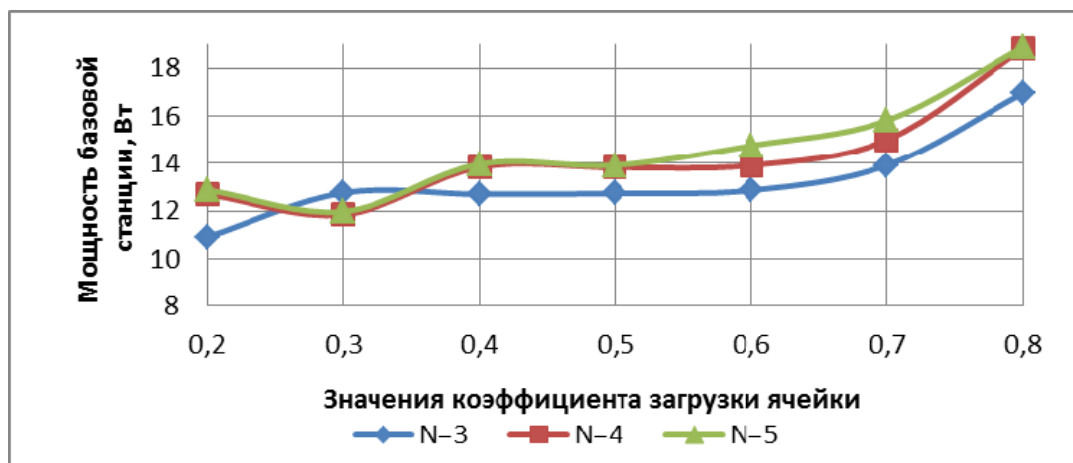


Рисунок 2 — Залежність коефіцієнта завантаження комірки від повної потужності базової станції

Після аналізу отриманих значень можна зробити декілька висновків:

1. По отриманим залежностям (рис. 1 і рис. 2) видно, що значення коефіцієнта завантаження комірки починає рости при зменшенні співвідношення сигнал/шум і при рості потужності базової станції. При значенні  $\eta_{DL} = 0,8$  співвідношення сигнал/шум падає до 4 дБ при  $N = 5$ , ймовірність помилки при цьому становить 0,2, що свідчить про значительному погіршенні якості зв'язу. Таким чином, при збільшенні коефіцієнта завантаження зростає ймовірність помилки і потужність базової станції.

2. Таким чином, для отримання оптимальних значень коефіцієнта завантаження комірки (0,5 – 0,6) необхідно, щоб співвідношення сигнал/шум було в діапазоні  $6 \div 10$  дБ, а потужність базової станції  $13 \div 15$  Вт.

### Висновки

На етапі попереднього планування мережі UMTS/HSDPA важливим є вибір найбільш оптимальних значень коефіцієнта завантаження комірки, який дуже тісно пов'язаний з вибором наданої послуги і моделі каналу, параметрами абонентських терміналів. Після досліджень енергетико-швидкісних залежностей видно, що для підтримання

оптимального значення коефіцієнта завантаження комірки достаточного змінення повної потужності базової станції при незмінних інших параметрах радіоінтерфейсу. Це дає можливість операторам зв'язу швидко і легко управляти якістю надання послуг високоскоростної передачі даних в нисходящому каналі.

#### Список використаної літератури

1. Количество абонентов сотовой связи в мире составляет 6 миллиардов. – Заглавие с экрана: [http://znaki.fm/magazine/technology/kolichestvo\\_abonentov\\_sotovoy\\_svyazi\\_v\\_mire\\_sostavlyayet\\_6\\_miliardov](http://znaki.fm/magazine/technology/kolichestvo_abonentov_sotovoy_svyazi_v_mire_sostavlyayet_6_miliardov)
2. Radio network planning and optimization for UMTS. Second edition / edited by Jaana Laiho; Ashim Wacker, Tomas Novosad. — John Wiley & sons, 2006.
3. Безрук В.М. Применение методов многокритериальной оптимизации при планировании сетей сотовой связи / В.М. Безрук, Д.В. Чеботарёва // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації. — 2008. — Вип. 618. — С. 117 – 126.
4. Попов В.А. Алгоритм оптимальной кластеризации для сетей сотовой связи / В.А. Попов, В.Я. Воропаева, Я.М. Верховский // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. — 2007. — Вип. 13 (121). — С. 53–58
5. Кааранен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааранен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен // Техносфера. – 2007.
6. Скрынников В.Г. Предварительная оценка параметров сети UMTS/HSDPA / В.Г. Скрынников // Электросвязь. — 2008. — №3.
7. Банди Б. Методы оптимизации. Основной курс / Б. Банди // Радио и связь. — 1988.

Надійшла до редакції:  
20.02.2012 р.

Рецензент:  
д-р техн.наук, проф. Ткаченко В.М.

*V.Y. Voropayeva, A.S. Krasikova. Optimal Values Obtaining of the Cell Load Factor Taking into Account the Characteristics of Energy Relations HSDPA. Based on the mathematical description of the power-speed relations for the radio interface UMTS the optimization of the load factor of HSDPA cells is carried out by the method of Hooke-Jeeves.*

**Keywords:** radio interface, base station, load factor of the cell, the users, the power optimization.

**В.Я. Воропаєва, Г.С. Красікова. Отримання оптимальних значень коефіцієнта завантаження комірки з урахуванням особливостей енергетичних співвідношень HSDPA. На підставі математичного опису енергетико-швидкісних співвідношень для радіоінтерфейсу UMTS, проведена оптимізація коефіцієнта завантаження комірки у HSDPA за допомогою методу Хука-Джівса.**

**Ключові слова:** радіоінтерфейс, базова станція, коефіцієнт завантаження комірки, користувачі, потужність, оптимізація.

© Воропаєва В.Я., Красікова А.С., 2012