

УДК 621.396.931

А.И. Романов¹, В.Б. Маньковский¹, А.А. Лаврут²¹ *Институт телекоммуникационных систем, НТУУ «КПИ»*² *Военный институт телекоммуникаций и информатизации, НТУУ «КПИ»*

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЕМКОСТИ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ WCDMA

В работе рассматривается метод оценки емкости системы WCDMA, который использует относительно полный набор параметров функционирования сети и не сложен для применения на практике. Кроме того, представлены результаты расчетов, проведенных по существующим аналитическим выражениям и выражениями, которые получили в работе дальнейшее развитие.

Ключевые слова: емкость сети WCDMA, расчет емкости uplink, число абонентов в соте WCDMA.

Введение

В процессе управления нагрузкой и режимами функционирования сетей мобильной связи третьего поколения достаточно часто необходимо иметь возможность производить оценку допустимого числа абонентов в той или иной точке сети. В настоящее время в научно-технической литературе опубликован ряд методов, позволяющих аналитически с той или иной степенью точности решить данную задачу. При этом, одни методы достаточно просты, но используют очень ограниченный объем исходных данных. Поэтому не в полной мере учитывают конкретные условия функционирования рассматриваемой сети и имеют низкую степень точности. Другие методы охватывают большое число параметров функционирования сети, но при этом являются сложными при практическом использовании.

Емкость WCDMA – один из ключевых атрибутов сети UMTS. Имеется ряд методов определения емкости сети WCDMA. Большинство из них предполагают определение максимального числа пользователей в соте. Иногда расчет емкости WCDMA рассматривается как определение максимального допустимого трафика в одной соте, при использовании одной частотной группы (Эрл / сота / Δf МГц) [1]. Мы будем рассматривать емкость сети WCDMA как максимальное число одновременно работающих пользователей, получающих полный перечень услуг с заданным качеством обслуживания. Следует иметь в виду, что емкости uplink и downlink отличаются друг от друга. Ограниченные количества пользователей в сети WCDMA в основном связано с uplink. А емкость downlink определяет требования к мощности излучения базовой станции (узла-В). Кроме того, вопросы определения емкости должны быть отделены от оценки производительности WCDMA и расчета бюджета линий. Мы будем оценивать емкость сети WCDMA по емкости uplink.

Основной материал

В современной научно-технической литературе рассматриваются различные методы, предлагаемые

для решения задачи оценки емкости WCDMA. Так, в [2] предлагается аналитическая зависимость для очень грубой оценки емкости. Основными исходными данными для расчета являются два показателя – коэффициент расширения спектра и необходимое значение отношения сигнал/шум.

В [3] произведено развитие результатов работы [2] и предлагается аналитическое выражение, которое кроме предварительно описанных двух характеристик дополняет зависимость емкости и от фактора активности услуг. В [4] емкость системы оценивается исходя из загруженности каналов. При этом главным отличием предлагаемой аналитической зависимости является учет влияния шумов интерференция текущего канала от соседних сот. В работе [5] оценивается влияние погрешностей управления мощностью сигнала на входе приемника на емкость системы.

Данная работа направлена на охват максимального числа параметров функционирования сети, оказывающих существенное влияние на емкость WCDMA. При этом основное внимание будет уделено получению аналитических выражений, позволяющих получить решение с достаточной для практики степенью точности.

Целью данной работы является определение метода расчета емкости системы WCDMA, в котором бы рационально сочетались уровень сложности определения искомой величины и учет рационального перечня параметров функционирования сети.

Емкость WCDMA на uplink

Расчет емкости WCDMA требует учета особенностей функционирования, присущих сетям данного типа. При WCDMA все пользователи используют общий физический ресурс. При этом абоненты работают одновременно в одной и той же полосе частот и различаются по расширяющимся кодам. Такой подход дает ряд преимуществ технологии WCDMA, обеспечивающих ее конкурентоспособность на рынке телекоммуникаций:

– эффективное использование радиоспектра

(эффективная модуляция, статистическое уплотнение каналов с учетом пауз в речи, динамическое распределение каналов);

- отсутствие необходимости в частотном планировании, вследствие использования всеми абонентами одной полосы частот;

- снижение требований к мощности передатчика мобильной станции по сравнению с TDMA;

- независимость используемых ресурсов на uplink и downlink, что упрощает реализацию асимметричной передачи информации и повышает эффективность использования ресурсов;

- простота образования нескольких подканалов в одной полосе частот: низкоскоростных для речи и факсов, высокоскоростных для видеосвязи и Internet;

- увеличение числа подканалов на одной несущей за счет статистического мультиплексирования;

- снижение энергопотребления мобильной станции за счет эффективного режима sleep-mode.

Кроме того, на емкость сети мобильной связи оказывают влияние стандартные параметры, такие как:

- структура радиосети. Размер соты и ее построение определяют величину шумов интерференции;

- размещение пользователей – стационарное или мобильное. Позиция пользователей определяет величину замираний, отражений, помех;

- тип предоставляемых услуг: реального времени или данные с неограниченной задержкой (разговорный, диалоговый, поточный и второстепенные услуги). Для услуг реального времени нужна определенная гарантированная скорость передачи, которая требует резервация системной емкости. Многосервисное обслуживание влияет на коэффициент активности, а также на требуемое соотношение сигнал/шум;

- характеристики приемника базовой станции узла-В (для uplink) и его антенной системы. Вид обработки сигналов узлом-В, конструктивные особенности антенны и ее параметры;

- контроль мощности (полный или не завершённый). Поскольку на емкость сети WCDMA влияет интерференция, то на процесс расчета емкости сети влияют методы снижения влияния интерференции. Быстрая и точная регулировка мощности на входе приемника – одно из основных требований для технологии WCDMA;

- излучаемая мощность узла-В и потери в пути передачи информации (для downlink).

С целью упрощения решения задачи введем ряд ограничений:

1. В зоне покрытия базовой станции все находятся на одинаковом расстоянии от антенны.

2. Все абоненты используют одинаковый уровень мощности излучаемого сигнала и, следовательно, создаваемые ими помехи имеют одинаковый уровень

3. В процессе обмена информацией все абоненты используют одинаковую скорость следования символов.

Проанализируем работу в соте из K активных абонентов с одновременным доступом к общей по-

лосе частот. Пусть каждый пользователь имеет свою собственную PN последовательность. Введем следующие обозначения: P – излучаемая мощность сигнала; E_b – энергия, приходящаяся на 1 бит информации, B_c – ширина полосы расширенной последовательности; f_{data} – скорость передачи информации; I – мощность шума интерференции; N_0 – плотность мощности шума. Тогда энергия, приходящаяся на один бит информации, может быть определена как отношение общей мощности сигнала к скорости передачи информации:

$$E_b = P/f_{data} . \quad (1)$$

Плотность мощности шума определяется, как отношение уровня шума интерференции к полосе частот, в которой он наблюдается:

$$N_0 = I/B_c . \quad (2)$$

Для получения значения отношения сигнал/шум необходимо выражения (1) и (2) разделить друг на друга:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P}{I} \frac{B_c}{f_{data}} . \quad (3)$$

Поскольку в соответствии с [4] отношение $B_c/f_{data} = PG$, преобразуем выражение (3) к виду (4):

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{P}{I} PG , \quad (4)$$

где PG – это выигрыш за счет обработки сигнала.

Если мощность сигналов всех активных пользователей на входе базовой станции одинакова, тогда суммарную мощность шумов интерференции I можно определить с помощью выражения

$$I = (K - 1)P . \quad (5)$$

Для определения отношения мощности шумов интерференции к полезной мощности сигнала разделим выражение (5) на P , получим

$$\frac{I}{P} = \frac{(K - 1)P}{P} = K - 1 . \quad (6)$$

Определив отношение I/P из (4) и подставив его в (6), при условии, что все пользователи используют PN последовательности одинакового порядка, получим:

$$K = 1 + \frac{PG}{E_b / N_0} . \quad (7)$$

Выражение (7) определяет допустимое количество одновременно активных пользователей. Дальнейший анализ и модификацию аналитических зависимостей по оценке емкости WCDMA будем производить на основе этого выражения.

Анализируя (4), можно отметить, что рост уровня PG для неизменного значения отношения E_b/N_0 приводит к увеличению емкости системы. Если PG имеет фиксированное значение, уменьшая E_b/N_0 (если QoS позволяет это делать) допустимая абонентская емкость растёт.

Взаимосвязь между емкостью и продолжительностью пользования различными услугами определяется фактором активности услуги v . Физический смысл данного явления может быть показан следую-

шим образом. В процессе обмена, например, речевыми сообщениями возникают паузы. Причем эти паузы могут быть двух видов – паузы молчания и паузы непрерывной речи. Эти паузы могут быть использованы для передачи потока данных, не предъявляющих жестких требований к задержке отдельных элементов. Таким образом, фактор активности услуги будет оказывать обратно пропорциональное влияние на емкость системы. То есть, чем выше фактор активности услуг (длина пауз молчания меньше), тем меньше емкость системы. Эту обратно пропорциональную зависимость фактора активности услуг ν можно отобразить следующим образом:

$$K = 1 + \frac{PG}{E_b / N_0} \frac{1}{\nu} \quad (8)$$

Контроль излучения и автоматическая подстройка мощности передатчиков подвижных станций обычно не позволяет достичь идеального результата. На величину рассогласования оказывает влияние и многолучевость при распространении сигналов. Для учета погрешностей данного типа используют логарифмическое смещение с шагом 1,5 – 2,5 дБ [6]. При этом вводят корректирующий фактор α_p . Тогда, выражение (8), в соответствии с [5], может быть преобразовано к виду

$$K = 1 + \frac{PG}{E_b / N_0} \frac{\alpha_p}{(1 + \beta)\nu} \quad (9)$$

где α_p – корректирующий коэффициент, учитывающий недостаточную точность контроля мощности сигналов, приходящих на базовую станцию; β – коэффициент, учитывающий влияние интерференции от других сот; ν – коэффициент активности услуги.

Типовые значения этих параметров для систем WCDMA, опубликованные в [5], представлены в табл. 1.

Таблица 1

Типовые значения параметров для системы WCDMA

Параметр	Среднее значение
Корректирующий коэффициент за счет неточности контроля мощности, α_p	0,5–1,0
Коэффициент активности, для голосовой связи ν_{vo}	0,4–0,6
Коэффициент, учитывающий влияние интерференции от других сот, β	0,5–0,9

На практике значение β в многосотовой системе при стандартных условиях эксплуатации принимают: для трех секторных сайтов $\beta = 0,85$; для всенаправленных антенн $\beta = 0,6$.

На емкость WCDMA оказывает значительное влияние вид услуг предоставляемых оператором. Каждый тип услуг требует определенной скорости передачи, имеет свой собственный коэффициент расширения спектра, коэффициент активности услуги, требуемое значение отношения сигнал/шум, допустимый уровень шумов канальной интерференции. Учетом влияние этих факторов, внося соответствующие коэффициенты в выражение (10):

$$K^* = \sum_{g=1}^G K_g = 1 + \alpha_p \sum_{g=1}^G \frac{\epsilon_g S_{fg}}{(E_b / N_0)_g} \frac{1}{(1 + \beta)_g \nu_g} \quad (10)$$

где ϵ_g – частица пользователей, которые используют услугу $g = \overline{1, G}$; $g = \overline{1, G}$ – перечень услуг, предоставляемых оператором; $(E_b / N_0)_g$ – отношение сигнал-шум на входе приемника; S_f – коэффициент расширения спектра, в соответствии с [2] $S_f = PG$.

Отметим, что в [5] было выражение, аналогичное (10), но в нем не учитывался коэффициент, что не давало возможность верно оценить емкость.

Предоставление услуг не реального времени (такие как передача данных) допускают снижение требований к качеству обслуживания QoS по сравнению с услугами реального времени. Это позволяет снизить требования к отношению E_b / N_0 , что ведет к увеличению допустимой емкости WCDMA.

Формула (10) является первым предложенным выражением для емкости, исходящим из выражений и атрибутов WCDMA, которые были представлены ранее.

Пути повышения емкости WCDMA

Емкость системы может быть увеличена за счет применения методов борьбы с интерференцией. К таким методам относятся: использование направленных антенн, применение адаптивных систем обработки принятых сигналов, применение приемников Rake, использование разнообразных типов интерференционных компенсаторов и др.

Сначала интерференция от других пользователей может быть снижена, например, за счет замены всенаправленной антенны на секторную. Практика показывает, что использование 3-х секторной антенны может увеличить емкость в 2 – 3 раза. Дальнейшее увеличение емкости соты можно достичь за счет использования адаптивной антенной системы. В общем случае, изменения емкости соты в зависимости от характеристик используемой антенно-фидерной системы можно учесть вариацией параметра A_b , который отражает функциональную зависимость соотношения коэффициента усиления антенны пользователя по отношению к коэффициенту усиления антенной источника помех. В соответствии с рекомендациями [5], этот параметр можно ввести непосредственно в выражение (9). Тогда аналитическая зависимость емкости WCDMA от параметров соты при доступности абонентам только одного вида услуг можно записать в виде следующего соотношения:

$$K = 1 + \frac{S_f \cdot A_b}{E_b / N_0} \frac{\alpha_p}{(1 + \beta)\nu} \quad (11)$$

Выражение (11) позволяет учесть вклад в повышение емкости системы WCDMA от улучшения характеристик антенны. Следует иметь в виду, что поправочный коэффициент A_b имеет достаточно сложную зависимость от параметров антенно-фидерной

системы. Так, в [7] показано, что эту зависимость можно представить в виде аналитического выражения:

$$A_b = N_s \cdot \int_{-\varphi/2}^{\varphi/2} p(\theta) \cdot G(\theta) d\theta / \int_{-\pi}^{\pi} p(\theta) \cdot G(\theta) d\theta, \quad (12)$$

где $p(\theta)$ – мощность сигнала, который принимается антенной в направлении θ ; $G(\theta)$ – коэффициент усиления антенны в направлении θ ; N_s – количество секторов на сайте; $\varphi = 2\pi/N_s$ – угол что приходится на один сектор. В условиях, когда мощность принимаемого сигнала есть величина постоянная независимо от направления приема и диаграмма направленности антенны является парной функцией относительно θ , выражение (12) можно упростить и представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} A_b &= N_s \cdot \int_{-\varphi/2}^{\varphi/2} p(\theta) \cdot G(\theta) d\theta / \int_{-\pi}^{\pi} p(\theta) \cdot G(\theta) d\theta = \\ &= N_s \cdot \left(2p \int_0^{\varphi/2} G(\theta) d\theta \right) / \left(2p \int_0^{\pi} G(\theta) d\theta \right) = \quad (13) \\ &= N_s \cdot \int_0^{\varphi/2} G(\theta) d\theta / \int_0^{\pi} G(\theta) d\theta. \end{aligned}$$

Для стандартных и часто используемых видов антенн в соответствии с (13) произведены аналитические расчеты коэффициента A_b . Полученные результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты аналитических расчетов коэффициента A_b

Количество секторов на сайте	Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости	Значение коэффициента A_b
1	360	1,000
3	180	1,878
3	130	1,930
6	130	2,164
6	90	2,425
6	65	2,974

Для не стандартных или редко используемых антенн необходимо производить расчеты с учетом зависимости, описанной формулой (13). В этом случае выражение для определения емкости системы для G услуг в системе WCDMA примет следующий вид:

$$\begin{aligned} K^* &= \sum_{g=1}^G K_g = 1 + \alpha_p \cdot N_s \times \\ &\times \left(\int_0^{\varphi/2} G(\theta) d\theta / \int_0^{\pi} G(\theta) d\theta \right) \cdot \sum_{g=1}^G \frac{\varepsilon_g S_{fg}}{(E_b/N_0)_g (1+\beta_g) \nu_g}. \quad (14) \end{aligned}$$

Поскольку при построении сети оперируют не сотами (секторами), а сайтами, а их емкость может быть определена из выражения (14) только в случае, если сайты односекторные, то для случая использования многосекторной антенны емкости сайта можно определить исходя из аналитического выражения:

$$\begin{aligned} K_s &= \xi_p \cdot N_s \cdot K^* = \xi_p \cdot N_s \cdot \sum_{g=1}^G K_g = \\ &= \xi_p \cdot N_s \times \quad (15) \end{aligned}$$

$$\times \left[1 + \alpha_p \cdot N_s \frac{\int_0^{\varphi/2} G(\theta) d\theta}{\int_0^{\pi} G(\theta) d\theta} \sum_{g=1}^G \frac{\varepsilon_g S_{fg}}{(E_b/N_0)_g (1+\beta_g) \nu_g} \right],$$

где ξ_p – коэффициент, учитывающий абонентов, которые находят в зоне действия двух секторов и, соответственно, потребляющие двойной ресурс.

В свою очередь ξ_p можно определить с помощью выражения (16):

$$\xi_p = 1 - \frac{\theta_{0,5} - 2\pi/N_s}{\theta_{0,5}} = 1 - \left(1 - \frac{2\pi}{N_s \theta_{0,5}} \right) = \frac{2\pi}{N_s \theta_{0,5}}, \quad (16)$$

где $\theta_{0,5}$ – ширина диаграммы направленности антенн базовой станции в горизонтальной плоскости.

Подставив (16) в (15), получим результирующую формулу оценки емкости соты:

$$K_s = \frac{2\pi}{\theta_{0,5}} \times$$

$$\times \left[1 + \alpha_p \cdot N_s \frac{\int_0^{\varphi/2} G(\theta) d\theta}{\int_0^{\pi} G(\theta) d\theta} \sum_{g=1}^G \frac{\varepsilon_g S_{fg}}{(E_b/N_0)_g (1+\beta_g) \nu_g} \right]. \quad (17)$$

Полученное аналитическое выражение при расчете емкости сайта позволяет одновременно учесть параметры и способ построения сети, а также особенности технологии. Для наглядности формулу (17) можно представить в виде блок-схемы (рис. 1):

Для оценки точности полученных результатов были проведены расчеты по выражению (8), приведенному в [3], и предлагаемой формуле расчета емкости (14), для следующих параметров:

- используется трех секторная антенна, с шириной главного лепестка 130°;
- неточность корректирования мощности $\alpha_p = 0,8$;
- предоставляется 2 услуги: телефонный разговор и доступ к интернету из $e1=0,6$ и $e1=0,4$ соответственно;
- интерференция текущего канала от других сот $\beta_1 = \beta_2 = 0,85$;
- коэффициент активности услуги $\nu_1 = 0,6$, $\nu_2 = 1$ соответственно;
- коэффициент расширения спектра $S_{f1} = 256$, $S_{f2} = 128$ соответственно;
- отношение сигнал-шум 3,6 дБ и 1,5 дБ.

Расчеты по формуле (8) будут проведены для первой услуги.

Результаты показали, что при расчете емкости сектора, рассчитанной по формуле (14), $K=124$ одновременно активных абонентов, а по упрощенной (8) $K=187$.

Представим значение емкости сектора (14) и сайта (17) для случаев, представленных в табл. 2, и параметров, которые использовались выше. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Для автоматизации расчетов и проверки адекватности представленных выражений использовалась система компьютерной математики Mathcad.

Вывод

В работе проведено дальнейшее развитие метода аналитической оценки емкости системы WCDMA, позволяющее учесть влияние большего числа пара-

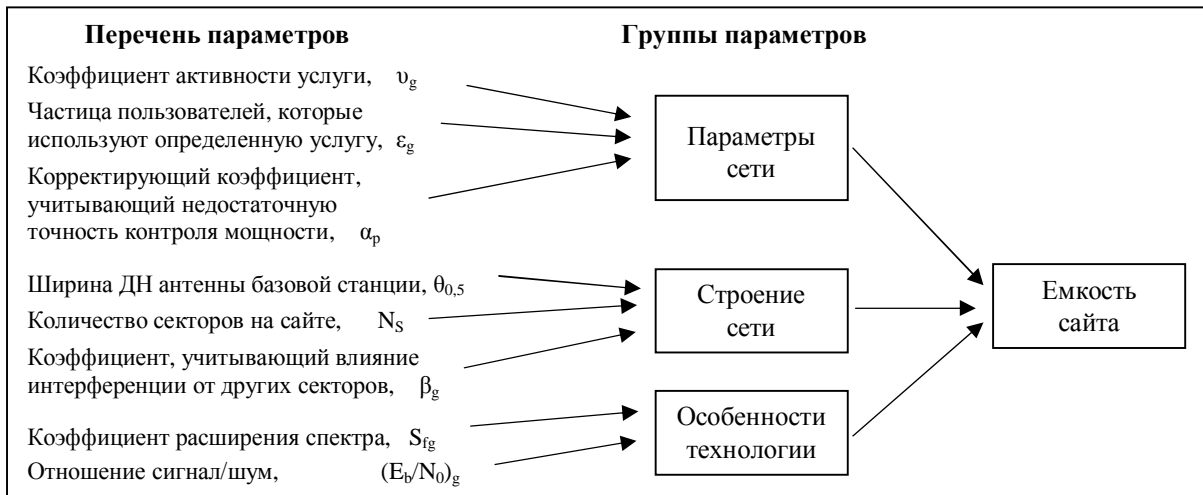


Рис. 1. Блок-схема выражения расчета емкости сайта

Таблица 3

Результаты расчетов емкости сектора и сайта

Количество секторов на сайте	Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости	Значение коэф. A_b	Емкость сектора К	Емкость сайта
1	360	1,000	65	65
3	180	1,878	121	242
3	130	1,930	124	344
6	130	2,164	139	386
6	90	2,425	156	624
6	65	2,974	191	1060

метров функционирования соты, таких как структура и тип абонентской нагрузки, взаимное влияние секторов в соте и другие. Показано, что использование адаптивной антенной системы позволяет повысить суммарное количество абонентов. Это влияние нашло свое отражение в модифицированных расчетных аналитических выражениях.

Проведены расчеты с использованием известных аналитических выражений и аналитических выражений, получивших в работе дальнейшее развитие. Полученные результаты показали, что использование упрощенных формул может дать завышенное число абонентов в соте. При определенных условиях это может привести к перегрузке. Данный факт связан с тем, что с целью обеспечения заданного показателя надежности обслуживания абонентов,

сектора в соте имеют взаимное перекрытие. В зависимости от величины угла взаимного перекрытия секторов, уменьшается допустимое количество абонентов в соте. Изменение допустимого числа абонентов в соте нашло свое отражение в модифицированных расчетных аналитических выражениях.

Список литературы

1. Holma H. WCDMA for UMTS – Third Edition / H. Holma, A. Toskala. – John Wiley & Sons, Sussex, England, 2004.
2. Кааранен Х. Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааранен, А. Ахтиайнен и др. – М.: Технофера, 2007. – 464 с.
3. Griparis T. The Capacity of a WCDMA Network – A Case Study / T. Griparis, T. Lee. – Bechtel, 2005.
4. Тухвинский В.О. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS / В.О. Тухвинский, С.В. Тереньтьев. – М.: Эко-Трендс, 2007. – 400 с.
5. Alma Skopliak Ramovic. The Modification of WCDMA Capacity Equation. – Belgrad, 2008.
6. Son N. Capacity and Throughput Optimization in Multi-cell 3G WCDMA Networks / N. Son. – University of North Texas, 2005.
7. Laiho Jaana. Radio Network Planning and Optimization for UMTS; Second Edition / Jaana Laiho, Achim Wacker. – John Wiley & Sons, LTD, 2006.

Поступила в редколлегию 9.09.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков.

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ЄМНОСТІ МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ WCDMA

О.І. Романов, В.Б. Маньківський, О.О. Лаврут

В роботі розглядається метод оцінки ємності системи WCDMA, який використовує відносно повний набір параметрів функціонування мережі і є не складним для використання на практиці. Крім того, подані результати розрахунків, які були проведені за існуючими аналітичними виразами та виразами, які отримали в роботі подальший розвиток.

Ключові слова: ємність мережі WCDMA, розрахунок ємності uplink, кількість абонентів в соті WCDMA.

MODIFIED METHOD OF ESTIMATION OF CAPACITY OF MOBILE COMMUNICATION WCDMA NETWORK

O.I. Romanov, V.B. Mankovskij, A.A. Lavrut

The method of estimation of capacity of the WCDMA system, which draws relatively on complete set of parameters of functioning of network and not difficult for application in practice, is examined in the article. In addition, the results of the calculations, conducted on existent analytical expressions and expressions which got further development in work, are represented.

Keywords: WCDMA network capacity, uplink capacity calculation, number of subscribers in WCDMA cell.