

УДК 621.39

# ПОЛОСА И КОЛИЧЕСТВО ЧАСТОТНЫХ ЗОН СЕЛЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ПРИЕМНИКЕ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА



А.С. Ящук, К.С. Сундучков  
Институт телекоммуникационных  
систем НТУУ «КПИ»



С.Э. Волков  
ГП «Укркосмос»

**Abstract** - Permissible speed of mobile users has increased to 200-300 km/h. Multiservice radio over fiber mm range network allows to provide broadband services (3, 12 Mbts) for a few thousand subscribers moving at high speed (200-300 km/h). Its architecture has specific features, namely facilitation of base station (BS) functions and choosing the optimal topology of communication between the central station and BS-es. These features lead to more complicated mobile terminals (MT) by adding selective allocation of an ordered service from the signal of the whole set of services. Bandwidth of the whole set of services is up to 4 GHz.

A method to calculate service allocation parameters in MT capable to work in such network was previously described. However it does not take into account the minimum allowable cell road coverage by BS limitations. The purpose of this paper: to define the parameters of the selective service allocation in MT receiver taking into account a restriction of the minimum allowable cell road coverage served by one BS.

The article specifies the mathematical model of a cell coverage calculating taking into account parameters of selective service allocation (zone number and bandwidth). Additional restrictions of selective service allocation parameters in MT were retrieved, namely: bandwidth of the frequency zone cannot be greater than 500 MHz; any BS should have a dual-horn antenna; a modulation QAM-512 for services with speed 12 Mbit/s is unacceptable.

**Анотація** – Запропоновано спосіб знаходження смуги і кількості частотних зон селективного перетворення в приймачі мобільного терміналу транспортного засобу. При цьому враховується мінімально допустима довжина ділянки дороги, яку охоплює один стільник, і частотні обмеження на цифрову обробку сигналів.

**Аннотация** – Предложен способ нахождения полосы и количества частотных зон селективного преобразования в приемнике мобильного терминала транспортного средства. При этом учитывается минимально допустимая длина участка трассы, охватываемая одной сотой, и частотные ограничения по цифровой обработке сигналов.

## Введение

Современное развитие области телекоммуникаций привело к необходимости обеспечения предоставления услуг пользователям в любом месте и в любое время, когда это требуется. Допустимая скорость движения мобильных пользователей уже достигла значения 200-300 км/час. Такой режим функционирования беспроводной сети востребован для высокоскоростных автомобильных или железнодорожных магистралей. Мультисервисная радиооптическая сеть миллиметрового диапазона [1, 2] позволяет предоставлять абонентам радиоканалы с большой пропускной способностью (3, 12 Мбит/с), обслуживая при этом до нескольких тысяч абонентов движущихся с высокими скоростями (до 200-300 км/ч). Ее архитектура базируется на упрощении алгоритмов функционирования базовой станции (БС) и выборе оптимальной топологии на участке сети между центральной станцией и базовой станцией. Это в

свою очередь приводят к усложнению мобильных терминалов (МТ) за счет добавления функции выделения сигнала требуемого радиоканала, который используется для предоставления заказанной абонентом услуги, из общего группового сигнала, полоса частот которого достигает 4 ГГц. При этом каждый пользовательский радиоканал выделяется для предоставления одной услуги, и занимаемая им полоса частот зависит от требуемой скорости передачи для соответствующей услуги и используемого вида модуляции. Для решения этой задачи был предложен способ приема со следующими отличительными особенностями[3]:

- входным каскадом приемника принимается групповой сигнал полосой 4 ГГц, содержащий набор OFDM-символов;
- после первого преобразования частот на первой промежуточной частоте фильтром выделяется один или несколько OFDM-символов;
- после второго преобразования частот на второй промежуточной частоте фильтром выделяется один OFDM-символ, в котором содержится сигнал требуемого пользовательского радиоканала.

В работе [4] описан метод расчета параметров селективного преобразования в МТ, предназначенном для работы в данной сети. Все радиоканалы, используемые для предоставления заказанных пользователем услуг, группируются в отдельные OFDM-символы. Один пользовательский радиоканал при этом использует одну поднесущую. Для минимизации объема оборудования МТ, а также чтобы оборудование было максимально однотипно, OFDM-символы также объединяются. Следует отметить, что при выборе значений параметров объединения OFDM-символов необходимо учитывать длину трассы, которую может обслужить одна БС при выбранных значениях параметров. Цель данной работы: определение параметров селективного преобразования в приемнике МТ с учетом ограничения минимальной длины трассы, обслуживаемой одной БС.

## **I. Расчет зоны обслуживания одной базовой станции с учетом параметров селективного преобразования**

Базовая станция сотовой сети в традиционном исполнении содержит ряд электронных блоков, например, таких как контроллеры, приемопередатчики, устройства, обеспечивающие доступ МТ в сеть, выделение частотного ресурса для каждого МТ, обеспечение процедуры хэндовера и т.п.

Архитектура рассматриваемой в статье мультисервисной радиооптической сети базируется на переносе большинства из перечисленных функций на центральную станцию. В результате этого функции БС миллиметрового диапазона ограничиваются лишь формированием нисходящего канала связи от БС к МТ, а ее приемопередающее устройство выполнено как оптико-электрический преобразователь двулучевого оптического сигнала в радиосигнал диапазона миллиметровых волн. Структурная схема упрощенной БС миллиметрового диапазона представлена на рис. 1,а.

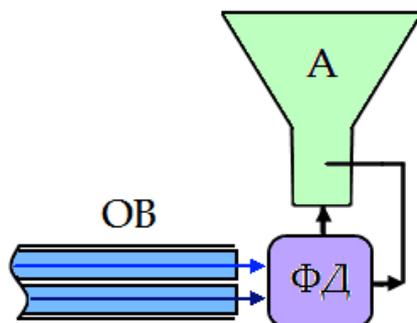


Рис. 1. Структурная схема конструкции БС диапазона миллиметровых волн (А – антенна; ОВ – оптическое волокно; ФД – фотодиод)

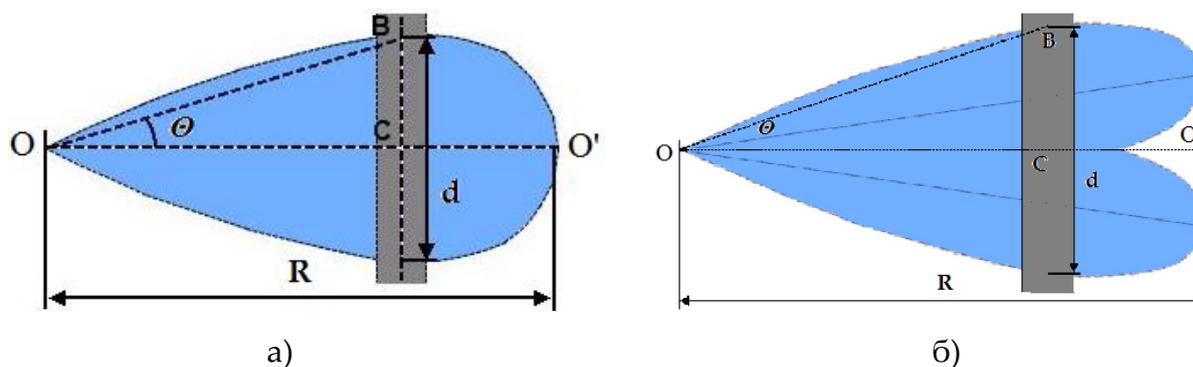


Рис. 2. Диаграмма направленности антенны базовой станции (ОО' – ось диаграммы направленности из одного рупора, ВС – ось трассы автобана) а) с одним рупором; б) с двумя рупорами

Произвести расчет величины зоны обслуживания  $d$  участка скоростной трассы одним передатчиком БС можно с использованием следующего выражения [4, 5]:

$$d(\Delta f_3) = 1,414 \cdot \operatorname{tg} \theta \cdot \frac{c}{4 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{P_{\Sigma \text{нас}}^{\Phi \Delta} \cdot K^{PP} \cdot K_y^{A1} \cdot K^A}{\frac{A \cdot k \cdot T_w^{MT} \cdot \Delta f_3}{K_y^{A2}}}}, \quad (1)$$

- где  $\theta$  – половинный угол ширины диаграммы направленности антенны по уровню 0,707;
- $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – скорость распространения света;
- $f_c$  – частота несущей;
- $P_{\Sigma \text{нас}}^{\Phi \Delta}$  – уровень мощности насыщения фотодиода;
- $K^{PP}$  – потери преобразования 2-х лучевого оптического сигнала в радиосигнал;
- $K_y^{A1}$  – коэффициент усиления антенн БС ( $A1$ );
- $K^A$  – коэффициент деления мощности сигнала БС на многорупорной антенне;

- $A$  – отношение уровня мощности сигнала к уровню мощности шумов на входе приемника-декодера МТ;
- $k = 1,3807 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана;
- $T_{ш}^{MT}$  – эквивалентная шумовая температура приемника МТ на входе его линейного тракта в плоскости стыковки с выходом антенны МТ ( $A_2$ );
- $\Delta f_3$  – полоса пропускания приемника;
- $K_y^{A_2}$  – коэффициент усиления антенны МТ.

Каждый приемник настроен на прием части полосы частот группового сигнала, передаваемого центральной станцией сети. В выделяемой приемником полосе частот должен содержаться сигнал пользовательского радиоканала, используемого для предоставления заказанной пользователем услуги. Приемники всех МТ настроены на прием одинаковой по ширине полосы частот, которая равна полосе частотной зоны. Частотная зона – частотная область шириной  $\Delta f_3$  на первой промежуточной частоте, которую затем переносят на вторую промежуточную частоту и которая содержит одну или несколько групп пользовательских радиоканалов.

Решение задачи определения оптимальных значений параметров группового сигнала в центральной станции позволяет определить, сколько OFDM-символов будет содержаться в сигнале и каково их наполнение: 64, 128, 256 или 512 пользовательских радиоканалов в зависимости от выбранной разрядности процессора обратного быстрого преобразования Фурье, а также определит скорость передачи радиоканалов в каждом OFDM-символе [6]. Для упрощения изложения будем рассматривать случай, когда в OFDM-символе с 64 поднесущими используется модуляция КАМ-64 на каждую поднесущую, с 128 поднесущими – КАМ-128, и т.д. Каждый OFDM-символ соответствует одной группе, содержащей 64, 128, 256 или 512 радиоканалов с модуляцией на каждой поднесущей КАМ-64, КАМ-128, КАМ-256, КАМ-512 соответственно. Частотная зона может состоять из одной или нескольких групп (OFDM-символов). Ширину полосы частот любой группы  $\Delta f_{gp}$  можно определить, используя соотношение:

$$\Delta f_{gp} = \frac{R}{m} [\text{Гц}],$$

где  $R = N_{gp} \cdot v$  – скорость передачи группы, бит/с;

$N_{gp}$  – количество поднесущих (в рассматриваемом нами случае  $N_{gp} = 2^m$ );

$v$  – пропускная способность пользовательского радиоканала в группе, используемого для предоставления услуги, бит/с;

$m$  – кратность используемого в группе модулятора (например, для КАМ-64 –  $m = 6$ ).

Тогда суммарную ширину полосы частот всех групп (OFDM-символов) можно определить как:

$$\Delta f = \sum \Delta f_{zp} [\text{Гц}].$$

Предположим, что по требованиям технического задания (ТЗ) полоса частот передаваемого сигнала после разбиения на зоны  $\Delta f'$  может увеличиться не более чем на 200 МГц относительно полосы частот  $\Delta f$  (речь идет о дополнительной избыточности информационного сигнала, связанной с разбиением полосы частот на частотные зоны и только с этим):

$$\Delta f' = \Delta f + 200 [\text{МГц}].$$

Разбиение сигнала на зоны (одна или более групп) – важная задача селективного преобразования, так как она определяет частотную эффективность и количество типов оборудования МТ, используемых в системе. Полоса частотной зоны  $\Delta f_3$  имеет 2 ограничения:

1. Она не может быть больше 1 ГГц – максимально возможной частоты АЦП:  $\Delta f_3 < 1 \text{ ГГц}$ ;
2. Она должна быть больше частотной полосы любой группы:  $\Delta f_3 > \max\{\Delta f_{zp}\}$ .

Однако если учесть лишь эти ограничения, тогда длина трассы, обслуживаемая одной БС, может оказаться слишком мала, например, 100-150 м.

Можно показать, что частотная эффективность будет максимальной, если полоса зоны будет стремиться к значению  $\frac{\Delta f'}{N}$ , где  $N$  – количество частотных зон. Тогда зону обслуживания  $d$  трассы одним передатчиком БС в зависимости от количества частотных зон можно определить как:

$$d(N) = 1,414 \cdot \text{tg} \theta \cdot \frac{c}{4 \cdot \pi} \cdot \frac{f_c}{\sqrt{\frac{P_{\Sigma \text{нас}}^{\Phi \Delta} \cdot K_{\text{ПП}} \cdot K_y^{A1} \cdot K^{\Delta}}{A \cdot k \cdot T_w^{MT} \cdot \Delta f'} \cdot K_y^{A2} \cdot N}}}. \quad (2)$$

Расчетные выражения (1) и (2) зоны обслуживания исследуются ниже с учетом результатов, полученных в работе [3].

## II. Исследование методов расчета покрытия одной базовой станции в зависимости от параметров селективного преобразования

В статье [3] рассматривалось одно из возможных распределений пользовательских радиоканалов по группам, приведенное на рис. 3. В системе формировались группы пользовательских радиоканалов с двумя скоростями передачи: 3 Мбит/с и 12 Мбит/с. Формировались 2 OFDM-символа с 256 поднесущими для групп со скоростью передачи 12 Мбит/с. Для групп со скоростями передачи 3 Мбит/с формировались: 1 OFDM-символ с 512 поднесущими, 3 OFDM-символа с 256 поднесущими, 1 OFDM-символ с 128 поднесущими и 2 OFDM-символа с 64 поднесущими.

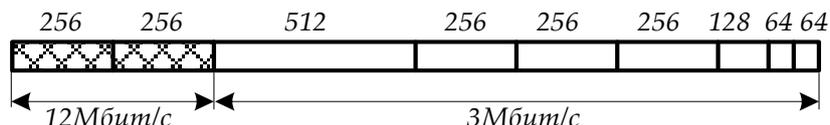


Рис. 3. Распределение 2048 поднесущих по группам

Полоса частот полезного сигнала для такого распределения равна  $\Delta f = 1346$  [МГц].

Далее с использованием интегрального критерия предпочтения (ИКП) [7-8] было проведено сравнение 9 вариантов наборов селективного преобразования частоты в МТ, содержащим 3 различных значения пары параметров  $\{N, \Delta f_3\}$ , а именно: {2; 704 МГц}, {3; 480 МГц}, {4; 384 МГц}. Согласно ИКП наиболее эффективным является решение с набором {2; 704 МГц}.

Минимальное значение зоны обслуживания  $d$  трассы передатчиком БС определено техническим заданием и равно 300 м. Проверим решение, найденное согласно ИКП, на предмет выполнения требований по минимальной зоне обслуживания. Для расчета зоны обслуживания будем использовать следующие параметры:  $\theta = 16^\circ$  при  $K^A = 1$  - БС с однорупорной антенной и  $\theta = 32^\circ$  при  $K^A = 0,5$  с двурупорной антенной (стоит отметить, что использование трех- и более рупорных антенн невозможно; это можно доказать, учитывая, что расстояние от антенны БС к краю зоны обслуживания должно быть меньше, чем радиус соты);  $f_c = 40$  ГГц;  $P_{\Sigma_{нас}}^{\Phi A} = 0,1$  Вт;  $K^{PP} = 0,1$  раз;  $K_y^{A1} = 114,382$  раз;  $A = 50$  раз;  $T_{ш}^{MT} = 300$  К;  $K_y^{A2} = 100$  раз;  $\Delta f' = \Delta f + 200$  МГц = 1546 МГц.

На рис. 4 представлен график зависимости  $d(\Delta f_3)$ , построенный согласно (1).

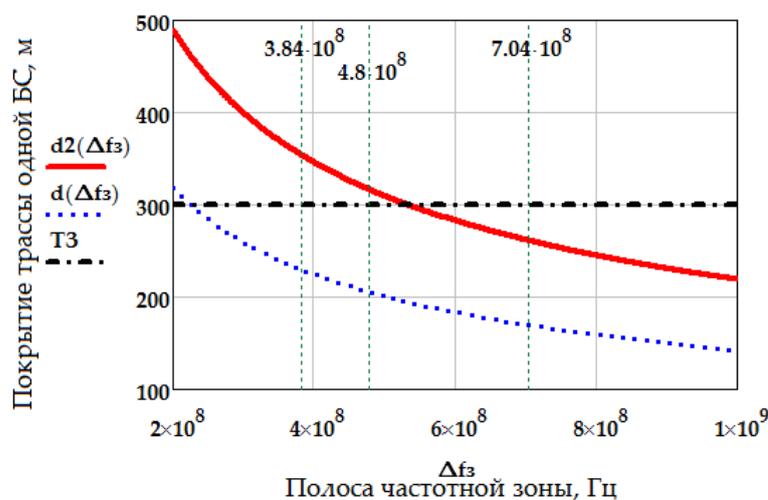


Рис. 4. Покрытие трассы от одной БС в зависимости от  $\Delta f_3$  для однорупорной ( $\cdots$ ), двурупорной ( $\text{—}$ ) антенны БС и требования ТЗ ( $\text{-}\cdot\text{-}\cdot\text{-}$ )

Применение однорупорной антенны не удовлетворяет требованиям ТЗ. Система с двурупорными антеннами на БС и параметрами {2; 704 МГц}, также не удовлетворяет ТЗ. Таким образом, принцип ИКП указал на самое эффективное решение, которое в то же время не удовлетворяет требованиям ТЗ на зону покрытия трассы от одной БС. Два оставшиеся набора {3; 480 МГц}, {4; 384 МГц} являются допустимыми решениями. Проверим это, построив график зависимости зоны покрытия от количества зон  $d(N)$  (2). Результат представлен на рис. 5.

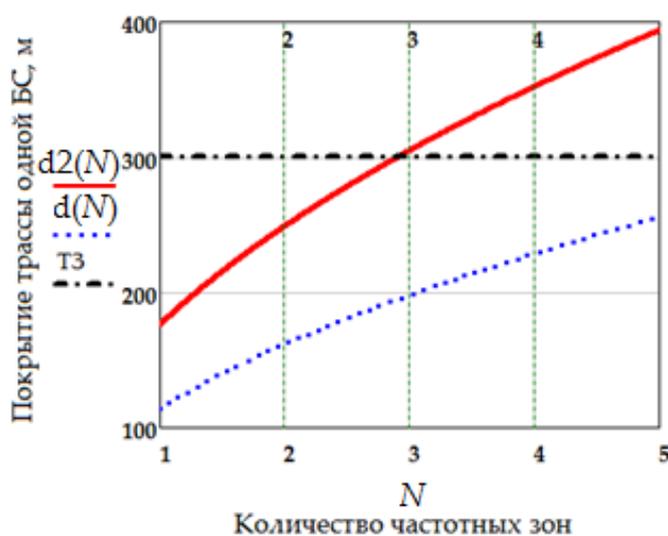


Рис. 5. Покрытие трассы от одной БС в зависимости от  $N$  для однорупорной (.....), двурупорной (—) антенны БС и требования ТЗ (-.-.-)

Рис. 5 подтверждает, что вариант однорупорной антенны не удовлетворяет ТЗ, а для двурупорной антенны использование варианта с количеством частотных зон равным  $N = 2$  недопустимо. При этом для набора {3; 480 МГц} зона покрытия трассы двурупорной антенной БС равна  $d = 316$  м, а для набора {4; 384 МГц} –  $d = 353$  м. Для недопустимого варианта {2; 704 МГц} покрытие равно  $d = 261$  м.

## Выводы

Основными результатами работы является следующее:

1. Доработана математическая модель расчета зоны покрытия трассы от одной БС в части учета параметров селективного преобразования в приемнике МТ.
2. Исследованы составленные модели в зависимости от количества рупоров в антенне БС, полосы частотной зоны и их количества.
3. Определена эффективная конфигурация антенны в БС и дополнительное ограничение на значение полосы частотной зоны, без учета которого требование ТЗ по зоне покрытия трассы от одной БС не выполнялось.

Из полученных результатов получаем ряд важных следствий:

- полоса частотной зоны не может быть больше 500 МГц (рис. 3), иначе не будет выполняться требование ТЗ по зоне покрытия трассы от одной БС (300 м);

- в системі слід застосовувати БС з двурупорною антенною, оскільки при однорупорній антенні зона покриття траси суттєво зменшується;

- для груп зі швидкістю передачі в користувацькому радіоканалі 12 Мбіт/с використання OFDM-символів з 512 піднесучими і модуляцією КАМ-512 недопустимо, так як смуга групи в цьому випадку становить 683 МГц, що перевищує допустимі 500 МГц смуги частотної зони – група не «впишеться» в таку частотну зону.

### Список літератури

1. *Ильченко М.Е.* Інтерактивна гетерогенна телекомунікаційна система 4G з безпроводним доступом в міліметровому діапазоні для надання мультимедійних послуг мобільним абонентам / М.Е. Ильченко, К.С. Сундучков, С.Э. Волков и др. // Зв'язок. – 2008. – №7-8. – С. 28-32.

2. *Ильченко М.Е.* Проблеми побудови мультисервісної розподільчої мережі доступу до мобільного терміналу абонента, що рухається з високою швидкістю / М.Е. Ильченко, К.С. Сундучков, Б.Н. Шелковников и др. // Електроніка і зв'язок. – 2011. – №2(61). – С. 163-169.

3. Пат. 71352 Україна, МПК<sup>6</sup> Н 04 В 1/06. Спосіб селективного перетворення зі зменшенням частоти сигналів в мобільному терміналі багатосервісної мережі з високою швидкістю руху абонентів / Сундучков К. С., Ящук О. С., Тихоненко Ю. Ю. (Україна); заявник та патентовласник НТУУ «КПІ». – № u201115670; заявл. 30.12.2011; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.

4. *Ящук А.С., Сундучков К.С.* Математична модель селективного перетворення в приймачі мобільного терміналу транспортного засобу // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – №1(53). – С. 125-131.

5. *Сундучков К.С., Фадеева Е.А., Волков С.Э.* Многочисленность при беспроводном доступе на автобане // Зв'язок. – 2011. – №4. – С. 63-66.

6. *Сундучков К.С.* Проблеми розвитку мобільної зв'язки при високій швидкості руху абонента / К.С. Сундучков, С.С. Буртовий, С.Э. Волков и др. // 6-а МНТК «Проблеми телекомунікацій»: Матеріали конференції. К.: НТУУ «КПІ», 2012. – С. 37-39.

7. *Тихоненко Ю.Ю., Сундучков К.С.* Математична модель каналоблаштування апаратури гетерогенної розподільчої телекомунікаційної мережі // Наукові записки УНДІЗ. – 2011. – №4(20). – С. 103-109.

8. *Сундучков К.С.* Застосування інтегрального критерію переваги при оптимізації телекомунікаційних мереж // Радіотехніка. – 2008. – №155. – С. 77-83.

9. *Сундучков К.С.* Оптимізація фрагмента телекомунікаційної мережі // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2010. – №3. – С. 36-45.