

УДК 621.39

А.С. ЯЩУК, К.С. СУНДУЧКОВ

*Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ», Украина*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЛЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ПРИЕМНИКЕ МОБИЛЬНОГО ТЕРМИНАЛА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

*В данной статье предложена архитектура приемника мобильного терминала транспортного средства, движущегося со скоростью 200-300 км/час, и аналитическая модель расчета параметров предложенного способа селективного преобразования в нем. Представлен метод расчета параметров предложенной архитектуры. Цель работы: создание математической модели расчета селективного преобразования в приемнике мобильного терминала сигналов набора услуг, суммарная полоса частот которых  $\gg 1$  ГГц, и выделение сигнала конкретной услуги, предназначенной для одного терминала.*

**Ключевые слова:** мультисервисные радиооптические сети, миллиметровый диапазон, супергетеродинный приемник, селективное преобразование, математическая модель.

### Введение

Одной из главных составляющих развития современного общества стало повсеместное внедрение телекоммуникационных технологий в жизнь людей. Уже в настоящее время является актуальным требование предоставления услуг связи во время движения абонентов при скорости в несколько сот км/ч, например, при поездке в экспрессе «Сапсан». При этом услуги не будут отличаться по скорости от тех, что сейчас предоставляются в фиксированных системах связи. Решить этот вопрос может мультисервисная радиооптическая сеть [1], работающая в миллиметровом диапазоне. Особенности ее архитектуры заключаются в упрощении функционала базовых станций (БС) и выборе топологии «шина» для связи между центральной станцией и БС. Такие решения позволяют предоставлять сервисы с большой пропускной способностью (3, 12 Мбит/с) для нескольких тысяч абонентов, движущихся с высокой скоростью (200-300 км/ч). Эти особенности в свою очередь приводят к усложнению мобильных терминалов (МТ) за счет добавления функции выделения нужного сервиса из сигнала всего множества услуг, полоса которого достигает 4 ГГц. Таким образом, функции МТ заключаются в приеме сигнала полосой до 4 ГГц и выделении (селекции) из него заказанной услуги. Стоит отметить, что граница применения цифровой обработки составляет 1 ГГц, следовательно, подвергнуть цифровой обработке весь сигнал не имеется возможности. Должно иметь место некое селективное преобразование сигналов услуг с миллиметрового диапазона приема в зону частот цифровой обработки сигнала.

Современные приемники, применяемые в миллиметровом диапазоне, имеют разную архитектуру

и принцип работы [2-4]: супергетеродинные, гомодинные, с одной промежуточной частотой (ПЧ), с двумя ПЧ и т.д. Их всех объединяет тот факт, что преобразование частоты выполняется во всем изначально принятом сигнале.

### 1. Архитектура приемника мобильного терминала

Особенности архитектуры сети предусматривают одновременную передачу всех услуг (например, 2048 услуг с пропускной способностью  $3 \div 12$  Мбит/с каждая) всем МТ. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) в приемнике имеют ограничения по входной частоте преобразуемого сигнала. На данный момент это значение составляет 1 ГГц [5]. При модуляции КАМ-64 сигнал (2048 услуг) займет  $1 \div 4$  ГГц. Следовательно, необходимо разбивать в центральной станции услуги на группы, и в каждой группе формировать OFDM-символы. Задача приема широкополосного сигнала и выделение нужной услуги возложена на МТ пользователя. Решение задачи оптимизации формирования сигнала в центральной станции даст ответ, сколько OFDM-символов будет содержаться в сигнале и каково их наполнение: 64, 128, 256 или 512 услуг в зависимости от вида применяемой модуляции (КАМ-64, КАМ-128, КАМ-256 или КАМ-512), а также определит скорость услуг в каждом OFDM-символе. Принять сигнал всех услуг можно только в миллиметровом диапазоне из-за широкой суммарной полосы рабочих частот сигналов всех услуг. В миллиметровом диапазоне выделить отдельную группу с нужной услугой не удастся из-за ограничений полосовых фильтров. Это значит, что необходимо весь принятый сигнал

преобразовать на промежуточную частоту (ПЧ). Этого преобразования будет недостаточно, ведь поместить сигнал полосой 4 ГГц в диапазон от 0 до 1 ГГц не удастся. Необходима еще одна ступень преобразования. Увеличение количества преобразований до 3 или 4 нецелесообразно ни технически, ни экономически.

На рис. 1 показана архитектура приемника МТ.

Входная цепь 1 принимает сигнал в миллиметровом диапазоне, усилитель 2 усиливает его до нужного уровня, первая ступень преобразования (3-5) переносит сигнал на первую ПЧ, фильтр 6 выделяет из полосы 4 ГГц одну группу или группу групп услуг с суммарной полосой частот сигналов этих услуг < 1 ГГц. Вторая ступень преобразования (7-8) переносит эту группу или группу групп услуг на вторую ПЧ в диапазон 0-1 ГГц, где осуществима цифровая обработка сигнала, фильтр 9 выделяет сигнал группы услуг, среди которой и заказанная пользователем, 10 – усилитель второй ПЧ, 11 – квадратурный смеситель, 12 – АЦП, 13 – цифровой приемник OFDM. На частотной оси 15 показано схематическое расположение аналоговых сигналов в мм диапазоне 14, одной группы или группы групп услуг 16 и группы услуг 17, в которой находится заказанная услуга.

Отличительные особенности предложенного способа приема:

- прием входным каскадом приемника сигнала с полосой 4 ГГц, в котором содержится несколько отдельных OFDM-символов;
- выделение фильтром после первого преобразования частот на первой ПЧ одного или более OFDM-символов (но не всех);
- выделение фильтром после второго преобразования частот на второй ПЧ одного OFDM-символа, в котором содержится заказанная услуга владельца МТ.

Следовательно, фильтры после первого и второго преобразования частот выполняют не только классическую функцию «непропускания» паразитных составляющих, но еще и функцию селективного выделения части принятого сигнала.

Чтобы был один фильтр после антенны до преобразования частот (1), один смеситель (3) и гетеродин (4) в звене первого преобразования, необходимо зарезервировать зону с максимальной полосой частот, которую займет сигнал на первой промежуточной частоте. Тогда при всех остальных вариантах сигнал поместится в этой полосе. Для любого случая принимать и переносить на первую ПЧ необходимо именно максимальную полосу частот, равную 4 ГГц. Это позволит использовать однотипное оборудование во всех МТ для первой ступени преобразования. Задача разбиения сигнала на первой ПЧ на зоны (группы OFDM-символов) является самой важной, так как она определит частотную эффективность и количество типов оборудования МТ, используемых в системе. В то время как вторая ПЧ находится в интервале от 0 до 1 ГГц, значение первой ПЧ подлежит определению.

## 2. Модель селективного преобразования

Исходными данными задачи расчета селективного преобразования частот в приемнике мобильной связи является состав сигнала, содержащий все услуги. Допустим, что система предоставляет 2 типа услуг: низкоскоростные ( $v_1$  услуг) со скоростью  $V_1$  (бит/с) и высокоскоростные ( $v_2$  услуг) со скоростью  $V_2$  (бит/с). Максимальное количество абонентов в системе (количество услуг) –  $K$  ( $K = v_1 + v_2$ ). Все услуги разбиты на группы по 64, 128, 256 или 512 услуг в зависимости от набора модуляторов, используемых на передающем конце, причем:

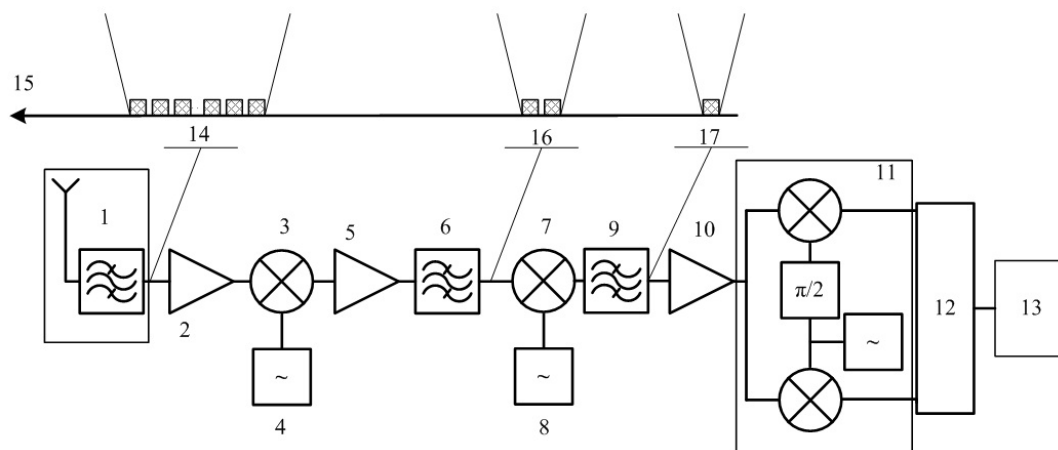


Рис. 1. Архитектура приемника мобильного терминала

–  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – количество групп с 64, 128, 254, 512 услугами соответственно со скоростью  $V_1$  бит/с;

–  $b_1, b_2, b_3, b_4$  – количество групп с 64, 128, 254, 512 услугами соответственно со скоростью  $V_2$  бит/с.

К исходным данным также отнесем уровень техники, который выражается возможностью полосовых фильтров выделять полосу на определенной несущей. Предположим, что отношение ширины выделяемой полосы к несущей частоте выделения не меньше  $t_1$ , но не больше  $t_2$ . При этом идеальным будем считать значение  $t_{ид}$ .

Задача состоит в создании метода, способного при разных исходных данных с учетом текущего уровня техники находить параметры селективного преобразования в приемнике, а именно: несущую частоту, значение первой и второй ПЧ, значение полос, выделяемых после первой и второй ПЧ, таким образом, чтоб частотная эффективность была максимальной, а количество типов оборудования минимально.

Введем определение: зона – частотная область с полосой  $\Delta f_3$  на первой ПЧ, которую переносят на вторую ПЧ и которая включает одну или более групп услуг. При этом  $\Delta f_3$  больше или равна полосе, которую занимают исключительно OFDM-символы, входящие в ее состав.

На рис. 2 представлена схема преобразования полос частот сигнала при его приеме.

Определению подлежат следующие параметры:

1)  $f_H, f_B$  – нижнее и верхнее значение полосы рабочих частот  $\Delta f$ , которая переносится на первую ПЧ при любом составе входного сигнала. Это позволит использовать однотипное оборудование в первой ступени преобразования для всех вариантов. Она равна максимально возможной полосе рабочих частот сигнала:  $\max\{\Delta f\}$ .

2)  $\Delta f_3, N, f_{ПЧ1}$  – полоса зоны, количество зон, необходимых для перекрытия всех групп услуг, и нижняя частота первой ПЧ. При поиске оптимальных значений перечисленных параметров целевая функция должна предусматривать следующие целеустремленности:

$N \rightarrow \min$  – минимизация количества зон, а следовательно и фильтров, необходимых для перекрытия/выделения всех групп;

$E_f = (\Delta f_3 \cdot N - \Delta f) \rightarrow \min$  – минимизация неэффективно используемого спектра при разбиении групп на зоны, который возникает из-за особенности OFDM-символа – запрещено разбивать его до циф-

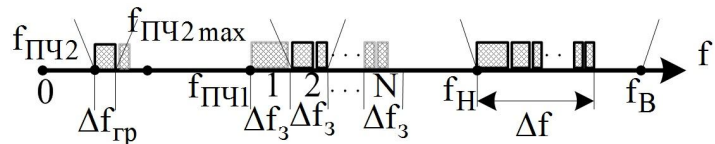


Рис. 2. Параметры способа приема сигнала

ровой обработки. Следовательно, одна группа не может быть разбита и находится в двух зонах одновременно;

$$\Phi = \frac{\sum \Phi_i}{N} \rightarrow \min,$$

где  $\Phi_i = \left| \frac{\Delta f_3}{f_{ПЧ1} + (i-1) \cdot \Delta f_3} - t_{ид} \right|, i = 1..N$  – показыва-

ет, насколько отношение полосы зоны к частоте, на которой она выделяется на первой ПЧ, отличается от идеального  $t_{ид}$ . Поскольку разные варианты будут содержать разное количество параметров  $\Phi_i$ , то для возможности их оценить между собой будем минимизировать их среднее арифметическое. При известном значении полосы частот  $\Delta f_3$ , занимаемой зоной, этот параметр позволяет выбрать частоту первой ПЧ  $f_{ПЧ1}$ , на которой выделение полосы  $\Delta f_3$  будет максимально технически просто.

3)  $f_{ПЧ2}$  – нижнее значение второй ПЧ. Определяется исходя из неравенства:  $f_{ПЧ2} + f_3 < f_{ПЧ2 max}$ .

Пример метода расчета селективного преобразования в МТ представлен в следующем разделе.

### 3. Метод расчета параметров селективного преобразования

Предположим, что система способна предоставлять услуги 2048 абонентам ( $K = 2048$ ): 1536 из них низкоскоростные ( $v_1 = 1536$ ) со скоростью 3 Мбит/с и 512 высокоскоростных ( $v_2 = 512$ ) со скоростью 12 Мбит/с ( $V_1 = 3$  Мбит/с,  $V_2 = 12$  Мбит/с). Характеристики возможных групп при данных скоростях услуг приведены в табл. 1.

Распределение услуг по группам может быть разнообразным. Для конкретизации иллюстрации рассмотрим одно из возможных распределений услуг по группам, приведенное на рис. 3, где  $a_1 = 2$ ,  $a_2 = 1$ ,  $a_3 = 3$ ,  $a_4 = 1$  – количество групп, содержащих 64, 128, 256 и 512 услуг со скоростью 3 Мбит/с соответственно, и  $b_1 = 0$ ,  $b_2 = 0$ ,  $b_3 = 2$ ,  $b_4 = 0$  – количество групп, содержащих 64, 128, 256 и 512 услуг со скоростью 12 Мбит/с соответственно.

Таблица 1  
Характеристики групп услуг  
со скоростями 3 Мбит/с и 12 Мбит/с

Параметры групп		Услуги 3 Мбит/с		Услуги 12 Мбит/с	
Количество услуг в группе	Модулятор	Полоса группы МГц	Полоса услуги МГц	Полоса группы МГц	Полоса услуги МГц
64	КАМ-64	32 (1*)	0,5	128 (4*)	2
128	КАМ-128	55 (2*)	0,43	220 (7*)	1,7
256	КАМ-256	96 (3*)	0,375	384 (12*)	1,5
512	КАМ-512	171 (6*)	0,33	683 (22*)	1,33

\* – значения полос, нормированные относительно 32 МГц (наименьшей полосы)

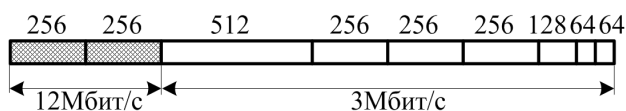


Рис. 3. Пример распределение услуг по группам

В радиотехнике принято считать, что выделение полосы частот  $\Delta f$  на несущей частоте  $f_0$  при соотношении  $\frac{\Delta f}{f_0} \approx 10\% = 0,1$  – процесс весьма реализуем. Тогда обозначим  $t_{ид} = 0,1$ , а значение отношения ширины выделяемой полосы к несущей частоте выделения может находиться в пределах от  $t_1 = 0,05$  до  $t_2 = 0,15$ .

Полосу полезного сигнала определим из количества и полос частот групп (табл. 1), входящих в распределение ( $a_1 = 2$  – две по 32 МГц,  $a_2 = 1$  – одна по 55 МГц,  $a_3 = 3$  – три по 96 МГц,  $a_4 = 1$  – одна по 171 МГц,  $b_3 = 2$  – две по 384 МГц):

$$\Delta f = 2 \cdot 32 + 1 \cdot 55 + 3 \cdot 96 + 1 \cdot 171 + 2 \cdot 384 = 1346 (\text{МГц})$$

Определим параметры преобразования.

1) Найдем максимальную полосу полезного сигнала, при условии, что все 2048 услуг в сети широкополосные (скорость 12 Мбит/с) и применяется модуляция только КАМ-64, т.е. все услуги разбиты на 32 группы по 64 услуги (полосой 128 МГц):

$$\max \{\Delta f\} = 32 \cdot 128 = 4096 (\text{МГц}).$$

Если положить, что  $\frac{\Delta f}{f_0} = 0,1$ , то получим несущее колебание для такой полосы:

$$f_0 = \frac{\max \{\Delta f\}}{t_{ид}} = \frac{4096}{0,1} = 40960 (\text{МГц}) = 40,96 \text{ ГГц}.$$

Учитывая, что диапазон частот 40 ГГц практически освоен, примем именно эту частоту за несущее колебание ( $f_0 = 40 \text{ ГГц}$ ), при этом резервиро-

ваться будет полоса 38-42 ГГц, т.е.  $f_H = 38 \text{ ГГц}$ ,  $f_B = 42 \text{ ГГц}$ .

2) Параметры  $\Delta f_3$ ,  $N$ ,  $f_{ПЧ}$  найдем, используя интегральный критерий предпочтения (ИКП) [6], позволяющий находить оптимальное решение при многокритериальной оптимизации:

$$\text{ИКП} = \prod_{i=1} R_i \cdot B_i,$$

где  $R_i$  – булева переменная, отражающая факт удовлетворения  $i$ -м параметром  $y_i$  требования технического задания (ТЗ):

$$R_i = \begin{cases} 0, & y_i \text{ не удовлетворяет требованиям ТЗ} \\ 1, & y_i \text{ удовлетворяет требованиям ТЗ} \end{cases}$$

$B_i$  – вычисленное либо заданное значение  $i$ -го параметра  $y_i$ , нормированное на величину  $i$ -го параметра, заданного в требованиях ТЗ  $y_i^{ТЗ}$ :

$$B_i = \frac{y_i}{y_i^{ТЗ}}.$$

При поиске оптимального варианта ранжируются системы по значению ИКП и выбирается система с минимальным значением. Оптимальный вариант системы соответствует такому набору параметров системы, при котором ИКП имеет минимальное значение [7].

Обозначим параметры  $y_i$ :  $y_1 = N$  – параметр, характеризующий количество зон,  $y_2 = E_f$  – полоса неэффективно использованного спектра,  $y_3 = \Phi$  – показывает, насколько отношение полосы зоны к частоте, на которой она выделяется на первой ПЧ, отличается от идеального  $t_{ид}$ .

Выбранные требования технического задания для трех параметров  $y_1^{ТЗ}$ ,  $y_2^{ТЗ}$  и  $y_3^{ТЗ}$ , приведены в табл. 2. Эти значения будут использованы при вычислении нормированных значений параметров  $B_i$ .

Таблица 2

Требования технического задания на параметры  $y_i$

Параметры, заданные в ТЗ	Примечание
$y_1^{ТЗ} \leq 4$	Учтено ограничение на полосу зоны, которая должна быть больше, чем максимальная группа услуг (384 МГц), и ограничение на полосу неэффективно использованного спектра 200 МГц
$y_2^{ТЗ} \leq 200 \text{ МГц}$	Максимальная полоса неэффективно использованного спектра – 200 МГц
$y_3^{ТЗ} \leq 0,05$	Значение отношения ширины выделяемой полосы к несущей частоте выделения должно отличаться от идеального $t_{ид} = 0,1$ не больше, чем на 0,05.

Параметр  $y_1 = N$ , характеризуючий кількість зон, может принимать только натуральные значения, причем  $N > 1$ . Значение  $N = 1$  не допустимо, иначе не достигается эффекта разбиения услуг на группы (чтобы полоса частот сигнала, который переносится на вторую ПЧ, была меньше 1 ГГц – для возможности проведения цифровой обработки). Максимальное значение определено ТЗ. Следовательно, возможны варианты  $N = \{2, 3, 4\}$ . Значением  $f_{ПЧ1}$  может быть произвольная частота выше 1 ГГц (чтобы первая ПЧ не пересекалась со второй). Для примера рассмотрим 3 значения: 4 ГГц, 5 ГГц, 6 ГГц. Найдем согласно ИКП наилучший вариант из 9 предложенных, полученных сочетаниями двух параметров (по 3 значения каждый).

Ниже показан алгоритм расчета на примере варианта, при котором используются следующие значения параметров:  $N = 3$ ,  $f_{ПЧ1} = 5 \text{ ГГц}$ :

- $y_1 = N = 3$ .

- $y_2 = E_f$  – для того, чтобы найти этот параметр необходимо знать значение  $\Delta f_3$ . Для простоты расчета перейдем к нормированным относительно 32 МГц значениям полос частот. Для всех групп услуг такие значения указаны в табл. 1 (значения округлены к целым числам: например, 55 МГц соответствует 2, хотя  $55/32 \approx 1,72$ ). Определим нормированное значение полосы сигнала  $\Delta f^H$  исходя из количества и нормированных полос частот групп (табл. 1), которые входят в распределение ( $a_1 = 2$  – две группы по 1 нормированных единиц (н.е.),  $a_2 = 1$  – одна по 2 н.е.,  $a_3 = 3$  – три по 3 н.е.,  $a_4 = 1$  – одна по 6 н.е.,  $b_3 = 2$  – две по 12 н.е.):

$$\Delta f^H = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 2 + 3 \cdot 3 + 1 \cdot 6 + 2 \cdot 12 = 43 \text{ (н.е.)}.$$

Можно показать, что эффективность будет максимальной, если полоса зоны будет стремиться к значению  $\frac{\Delta f}{N}$ . Согласно этому получаем нормированное значение полосы частот зоны  $\Delta f_3^H$ :

$$\Delta f_3^H = \frac{\Delta f^H}{N} = \frac{43}{3} = 14,333 \approx 15 \text{ (н.е.)}.$$

Округляем значение в большую сторону.

Полосу частот в абсолютных единицах получаем умножением нормированного значения на величину нормировки (32 МГц):

$$\Delta f_3 = \Delta f_3^H \cdot 32 = 15 \cdot 32 = 480 \text{ (МГц)}.$$

Проверим, не нарушается ли условие целостности OFDM-символов во время деления групп на зоны. На рис. 4 показана возможность разместить все группы в зонах без нарушения целостности групп.

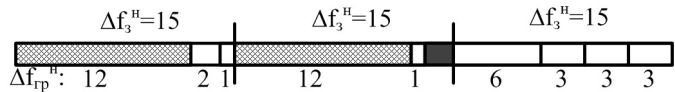


Рис. 4. Проверка целостности групп при разбиении на зоны

Полосы групп и зон указаны в нормированном виде. Если целостность была нарушена, тогда следовало бы увеличить полосу зоны на одну нормированную единицу.

Определив  $\Delta f_3$ , вычисляем параметр  $y_2$ :

$$y_2 = E_f = \Delta f_3 \cdot N - \Delta f = 480 \cdot 3 - 1346 = 94 \text{ (МГц)}.$$

В это значение входит избыточная полоса частот зоны для обеспечения целостности OFDM-символов (закрашенная в черный цвет область на рис. 4 – 64 МГц), а также часть, связанная с округлением значений при переходе к нормированным величинам полос частот групп.

- $y_3 = \Phi$ , где  $\Phi = \frac{\sum \Phi_i}{N}$ ,

- $\Phi_i = \left| \frac{\Delta f_3}{f_{ПЧ1} + (i-1) \cdot \Delta f_3} - t_{ид} \right|, i = 1..N$

Рассчитываем:

$$\Phi_1 = \left| \frac{480}{5000} - 0,01 \right| = 0,4 \cdot 10^{-2};$$

$$\Phi_2 = \left| \frac{480}{5000 + 480} - 0,01 \right| = 1,241 \cdot 10^{-2};$$

$$\Phi_3 = \left| \frac{480}{5000 + 2 \cdot 480} - 0,01 \right| = 1,946 \cdot 10^{-2}.$$

$$\Phi = \frac{\sum \Phi_i}{N} = \frac{\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3}{3} = 1,196 \cdot 10^{-2}$$

Отметим, что все параметры удовлетворяют ТЗ, а значит  $R_i = 1$ .

Вычислим  $B_i = \frac{y_i}{y_i^{ТЗ}}$ :

$$B_1 = \frac{y_1}{y_1^{ТЗ}} = \frac{3}{4} = 0,75; \quad B_2 = \frac{y_2}{y_2^{ТЗ}} = \frac{94}{200} = 0,47;$$

$$B_3 = \frac{y_3}{y_3^{ТЗ}} = \frac{1,196 \cdot 10^{-2}}{0,05} = 0,239.$$

Тогда ИКП для этого варианта:

$$\text{ИКП} = \prod_{i=1} R_i \cdot B_i = 0,75 \cdot 0,47 \cdot 0,239 = 0,842 \cdot 10^{-1}.$$

В табл. 3 представлены результаты расчета параметров и ИКП по аналогичной схеме для всех 9 вариантов ( $t_1, t_2, \dots, t_9$ ). По результатам расчета можно сделать вывод, что наилучшим вариантом

Таблица 3

Параметры селективного преобразования приемника  
при  $N = \{2, 3, 4\}$ ,  $f_{ПЧ1} = \{4 \text{ ГГц}, 5 \text{ ГГц}, 6 \text{ ГГц}\}$

Параметры\Варианты	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$
$N$ , шт.	2	2	2	3	3	3	4	4	4
$f_{ПЧ1}$ , ГГц	4	5	6	4	5	6	4	5	6
$\Delta f_3$ , МГц	704	704	704	480	480	480	384	384	384
$y_1 = N$ , шт.	2	2	2	3	3	3	4	4	4
$y_2 = E_f$ , МГц	62	62	62	94	94	94	190	190	190
$\Phi_1 \cdot 100$	7,600	4,080	1,733	2,000	0,4	2,000	0,400	2,320	3,600
$\Phi_2 \cdot 100$	4,966	2,342	0,501	0,714	1,241	2,593	1,332	2,868	3,984
$\Phi_3 \cdot 100$				0,323	1,946	3,103	1,946	3,343	4,326
$\Phi_4 \cdot 100$							2,547	3,758	4,631
$y_3 = \Phi \cdot 100$	6,283	3,211	1,117	1,012	1,196	2,565	1,556	2,922	4,135
$B_1$	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	1	1	1
$B_2$	0,31	0,31	0,31	0,47	0,47	0,47	0,95	0,95	0,95
$B_3$	1,257	0,642	0,223	0,202	0,239	0,513	0,311	0,584	0,827
$R_1; R_2; R_3$	1;1;0	1;1;1	1;1;1	1;1;1	1;1;1	1;1;1	1;1;1	1;1;1	1;1;1
ИКП · 10	-	0,995	<b>0,346</b>	0,712	0,842	1,808	2,955	5,548	7,857

оказался вариант  $t_3$  со значениями  $\Delta f_3 = 704 \text{ МГц}$ ,  $N = 2$ ,  $f_{ПЧ1} = 6 \text{ ГГц}$ .

Вариант  $t_5$ , расчет которого приводился в примере, занимает лишь третью позицию (после  $t_3$  и  $t_4$ ).

У варианта  $t_1$  параметр  $y_3$  не удовлетворяет требованиям технического задания, значит, для него ИКП не рассчитывался.

3) Параметр  $f_{ПЧ2}$  найдем исходя из вычисленного значения  $\Delta f_3 = 704 \text{ МГц}$  и  $f_{ПЧ2 \max} = 1 \text{ ГГц}$  – максимальной частоты АЦП. Должно выполняться неравенство:  $f_{ПЧ2} + f_3 < f_{ПЧ2 \max}$ . Значение  $f_{ПЧ2} = 200 \text{ МГц}$  удовлетворяет его.

Таким образом, все параметры селективного преобразования определены:

$f_H = 38 \text{ ГГц}$ ,  $f_B = 42 \text{ ГГц}$  ( $f_0 = 40 \text{ ГГц}$ ) – нижнее и верхнее значение полосы приема сигнала услуг;

$f_{ПЧ1} = 6 \text{ ГГц}$  – нижнее значение первой ПЧ;

$f_{ПЧ2} = 200 \text{ МГц}$  – нижнее значение второй ПЧ;

$\Delta f_3 = 704 \text{ МГц}$  – полоса частот, выделяемая после первого преобразования частоты;

$E_f = 62 \text{ МГц}$  – часть спектра, используемая неэффективно, т.е. не используемая сигналом услуг;

$N = 2$  – для всех МТ вне зависимости от того, какая услуга заказана, будет достаточно лишь 2 типа фильтров на первой ПЧ.

## Заключение

Основными результатами работы являются следующее:

1. Предложен способ селективного преобразования услуги в приемнике мобильного терминала, отличающийся тем, что фильтры после первого и второго звена ПЧ выполняют не только классическую функцию «непропускания» паразитных составляющих, но еще и функции селективного выделения части принятого сигнала, а сам принятый сигнал является набором отдельных OFDM-символов.

2. Предложена математическая модель расчета параметров архитектуры приемника МТ, позволяющая выполнять селективное преобразование сигналов услуг.

3. Предложен метод расчета параметров селективного преобразования. Приведен пример расчета параметров селективного преобразования, в котором 2048 сигналов услуг на участке беспроводного доступа занимают суммарную рабочую полосу частот равную 1346 МГц, в то время как минимальная полоса рабочих частот сигнала одной услуги равна 330 кГц. При этом на примере показано, что приемник может быть построен по схеме супергетеродинного приема с двойным преобразованием частоты, где  $f_H = 38 \text{ ГГц}$ ,  $f_B = 42 \text{ ГГц}$  ( $f_0 = 40 \text{ ГГц}$ ) – нижнее и верхнее значение полосы приема сигнала услуг;  $f_{ПЧ1} = 6 \text{ ГГц}$  – нижнее значение первой ПЧ;

$f_{ПЧ2} = 200$  МГц – нижнее значение второй ПЧ;  $\Delta f_3 = 704$  МГц – полоса частот, выделяемая после первого преобразования частоты;  $E_f = 62$  МГц – часть спектра, используемая неэффективно, т.е. не используемая сигналом услуг;  $N = 2$  – для всех МТ вне зависимости от того, какая услуга заказана, будет достаточно лишь 2 типа фильтров на первой ПЧ.

Дальнейшая работа будет проводиться в направлении исследования математической модели, ее области допустимых значений и решений.

## Литература

1. Интерактивная гетерогенная телекоммуникационная система 4G с беспроводным доступом в миллиметровом диапазоне для предоставления мультимедийных услуг мобильным абонентам [Текст] / М. Е. Ильченко, К. С. Сундучков, С. Э. Волков и др. // Зв'язок. – 2008. – №7-8. – С. 28 – 32.

2. Parsa, A. A New Transceiver Architecture for the 60-GHz Band [Text] / A. Parsa, B. Razavi // IEEE Journ. of solid-state circuits. – 2009. – Vol.44, No 3. – P. 751 – 762.

3. A BPSK/QPSK Receiver Architecture Suitable for Low-Cost Ultra-High Rate 60 GHz Wireless Communications [Text] / A.C. Ulusoy, G. Liu, M. Peter, et al. // Proceedings of the 40th European Microwave Conference (EuMA-2010). – 2010. – P. 381 – 384.

4. Zhang Z.-Y. 60 GHz Transceiver Architectures Deploying Substrate Integrated Circuits (SICs) Technique [Text] / Z.-Y. Zhang, Y.R. Wei, K. Wu // Proceedings of the 3rd European Wireless Technology Conference. – 2010. – P. 33 – 36.

5. A Low-Power Analog-to-Digital Converter for Multi-Gigabit Wireless Receiver in 90nm [Text] / K. Chuang, D. Yeh, S. Pinel, J. Laskar // Proceedings of the 40th European Microwave Conference (EuMA-2010). – 2010. – P. 218 – 221.

6. Сундучков, К.С. Применение интегрального критерия предпочтения при оптимизации телекоммуникационных сетей [Текст] / К.С. Сундучков // Радиотехника. – 2008. – № 155. – С. 77-83.

7. Сундучков, К.С. Оптимизация фрагмента телекоммуникационной сети [Текст] / К.С. Сундучков // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2010. – № 3. – С. 36 – 45.

Поступила в редакцію 6.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. каф. інформаційно-навігаційних систем В.В. Конев, Національний авіаційний університет, Київ.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СЕЛЕКТИВНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ В ПРИЙМАЧІ МОБІЛЬНОГО ТЕРМІНАЛУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

*О.С. Ящук, К.С. Сундучков*

В даній статті запропонована архітектура приймача мобільного терміналу транспортного засобу, що рухається зі швидкістю 200-300 км/год, і аналітична модель розрахунку параметрів запропонованого способу селективного перетворення в ньому. Описаний метод розрахунку параметрів запропонованої архітектури. Мета роботи: створення математичної моделі розрахунку селективного перетворення в приймачі мобільного терміналу сигналів набору послуг, загальна смуга частот яких  $\gg 1$  ГГц, і виділення сигналу окремої послуги, що призначена для одного терміналу.

**Ключові слова:** мультисервісні радіо оптичні мережі, міліметровий діапазон, супергетеродинний приймач, селективне перетворення, математична модель.

## VEHICLE MOBILE TERMINAL RECEIVER SELECTIVE ALLOCATION MATH MODEL

*O.S. Iashchuk, K.S. Sunduchkov*

Vehicle (up to 200-300 km/h) mobile terminal receiver architecture and parameters calculation math model of selective allocation method are proposed in this paper. The architecture parameters calculation method is presented. This research is aimed to perform a math model of selective allocation for vehicle mobile terminal receiver services set, where services bandwidth is more than 1 GHz. This technical solution selects a signal of the one user service.

**Key words:** multiservice radio over fibre network, mm length wave, superheterodyne receiver, selective allocation, math model.

**Ящук Александр Сергеевич** – аспирант каф. інформаційно-телекомунікаційних систем, Інститут телекомунікаційних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна, e-mail: yaas@bigmir.net.

**Сундучков Константин Станиславович** – д-р техн. наук, проф., проф. каф. інформаційно-телекомунікаційних систем, Інститут телекомунікаційних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна, e-mail: k.sunduchkov@gmail.com.