

из [3] с интерпретацией применительно к реальному виду АФУ сектора БС.

Достигнутое в таком случае необходимое подавление горизонтальной составляющей излучаемого сектором сигнала обеспечило существенное снижение энергетических ограничений (в том числе с упомянутых выше 10 секторов БС сети по аэродрому Раменское).

Заключение. В проведенных теоретических исследованиях были определены наиболее эффективные пути улучшения ЭМС РЭС сети стандарта GSM с РЭС РСБН/ПРМГ. К ним относятся снижение ЭИИМ в направлении рецептора НРП, использование поляризационной развязки РЭС, а также экспериментальное измерение и учет дополнительных потерь на трассе распространения сигналов НРП. Количественная оценка эффективности этих путей, а также оценка сложности их реализации предопределили порядок использования и условия применимости. Данный подход обеспечил уточнение условий ЭМС и возможность снятия энергетических ограничений с ряда секторов БС сети СПР стандарта GSM-900 в диапа-

зоне E-GSM (более 15 ЧК) на территории Садового кольца Москвы. Результаты работ в части, касающейся ЭМС РЭС РСБН/ПРМГ и РЭС сети СПР стандарта GSM-900, подтверждены результатами летных экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пчелкин В. Ф. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. — М.: Знание, 1971.
2. Князев А. Д. Элементы теории и практики обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. — М.: Радио и связь, 1984.
3. Актуальные вопросы повышения эффективности использования национального радиочастотного ресурса // Сб. ст. конф.: Приходько В. В., Калугин В. Г., Высочин В. П., Дю К. О. Некоторые пути решения проблемы обеспечения ЭМС РЭС сетей сотовой связи стандарта GSM-900 и воздушной радионавигации в интересах повышения эффективности использования радиочастотного спектра. — Суздаль, 2006.

Получено 30.08.10

УДК 621.396.019.4:37.029

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЛОС ЧАСТОТ ДЛЯ НОВЫХ РАДИОТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В. С. Якименко, ведущий научный сотрудник ФГНИИЦ РЭБ ОЭСЗ Минобороны России, к.т.н.

Р. В. Лях, научный сотрудник ФГНИИЦ РЭБ ОЭСЗ Минобороны России

А. В. Якименко, инженер ОАО «Концерн «Созвездие»; yakimenkoav@mail.ru

В. В. Якименко, инженер ОАО «Концерн «Созвездие»

Введение. Современный рынок телекоммуникационных услуг характеризуется интенсивным внедрением новых радиотехнологий передачи данных, среди которых наиболее заметное место занимают системы беспроводного доступа и подвижной связи. Непременным условием внедрения новых технологий на территории страны является получение для них права на использование радиочастотного спектра (РЧС). Это право предоставляется государственными органами радиочастотной службы в два этапа: посредством выделения полос радиочастот для радиотехнологий или типов радиоэлектронных средств (РЭС) и присвоения (назначения) радиочастот или радиочастотных каналов экземплярам РЭС в пределах выделенных полос частот [1]. Различия в исходных данных о характеристиках и условиях применения новых РЭС, имеющихся на этих этапах, определяют содержание методов, используемых при выделении и присвоении частот новым РЭС.

Так, на этапе присвоения частот наличие достоверных данных о координатах размещения новых средств, высоте подъема и характеристиках направленности антенн обусловило широкое применение расчетных методик оценки электромагнитной совместимости (ЭМС), позволяющих на количественном уровне оценивать возможность возникновения непреднамеренных помех между новыми и действующими средствами в дуэльных или групповых ситуациях. На этапе же выделения полос частот, ввиду значительной в большинстве случаев неопределенности данных о предполагаемой численности и размещении новых РЭС, более

широкое распространение получили экспертные методы принятия решений. При этом в качестве вспомогательной информации нередко используются нормы частотно-территориального разнеса (ЧТР) РЭС.

Процедура выделения полос частот для новых радиотехнологий, и в частности систем беспроводного доступа и подвижной связи, занимает много времени и требует значительных материальных затрат [2, 3]. Вызвано это тем, что новые радиотехнологии зачастую претендуют на участки спектра, интенсивно используемые действующими средствами. От положения выделяемой полосы на частотной оси во многом зависят темпы развития и степень проникновения новых радиотехнологий в территориальных районах, а также издержки, связанные с присвоением частот РЭС на этапе эксплуатации. Повысить степень обоснованности решений по выделению полос частот для рассматриваемых радиотехнологий могло бы более широкое применение *альтернативных методов количественной оценки возможности обеспечения нормального функционирования новых и действующих РЭС*. Один из таких подходов, основанный на применении ресурсных показателей использования РЧС, рассматривается в данной статье.

Постановка задачи. При разработке альтернативного подхода учитывались важные с позиций управления использованием РЧС особенности систем беспроводного доступа и подвижной связи. Одна из них — необходимость создания ими в территориальных районах сплошной (или близкой к тому) зоны покрытия, что обеспечило бы потре-

бителям доступ к информации вне зависимости от их местоположения. Вторая особенность — в территориальных районах рассматриваемые системы могут иметь от одного до трех уровней организации связи в зависимости от размера зон обслуживания их оборудования (базовых станций) и характеристик циркулирующих потоков информации. И, наконец, третье отличие состоит в том, что системы беспроводного доступа и подвижной связи относятся к так называемым системам с динамически развивающейся структурой, а следовательно, число пользователей, абонентских (АС) и базовых станций (БС) постоянно растет. Поэтому на этапе выделения полос частот спрогнозировать параметры радиоэлектронной обстановки (РЭО) в территориальных районах, которую создадут РЭС рассматриваемых систем при их функционировании, не представляется возможным. Это, в свою очередь, исключает возможность корректной оценки ЭМС новых РЭС беспроводного доступа и подвижной связи и действующих средств при их совместной работе в общих полосах частот и территориальных районах.

У предлагаемого метода количественной оценки возможности совместного функционирования новых и действующих средств, основанного на определении имеющихся резервов РЧС в планируемой для них полосе частот и сравнении их с потребностями в спектре для РЭС новых радиотехнологий, есть два серьезных преимущества. Во-первых, технические характеристики основных типов планируемого к применению радиооборудования (АС и БС) известны уже на этапе выделения полос частот. Благодаря этому с помощью специальных методик оценки загрузки РЧС [4, 5] можно выявить резервы спектра для этих средств, имеющиеся в рассматриваемых полосе частот и территориальном районе. Во-вторых, для радиотехнологий с динамически развивающейся структурой, как правило, известен необходимый для их функционирования частотный ресурс (потребности в спектре). Он может быть выражен в виде числа частотных каналов (n_k) или полосы частот (ΔF_{Π}), которая должна быть предоставлена им в пользование. При этом ΔF_{Π} определяется как полоса частот, свободная от излучений посторонних РЭС. Критерием возможности обеспечения нормального функционирования новых и действующих РЭС, а следовательно, и выделения заявленных полос частот для новых радиотехнологий может служить наличие резервов РЧС, достаточных для удовлетворения их потребностей в спектре. В этой связи задача определения возможности выделения полос радиочастот для систем беспроводного доступа и подвижной связи формулируется следующим образом.

Заданы: полоса частот ΔF_0 , в пределах которой нужно выделить участок спектра для новой радиотехнологии; потребности в РЧС для этой технологии (ΔF_{Π} , n_k) и тактико-технические характеристики ее РЭС; данные о РЭО, образуемой действующими РЭС в полосе частот ΔF_0 и территориальных районах (рассматриваются территории площадью 100—1000 км², где предполагается распространение этой радиотехнологии); нормы ЧТР новых и действующих РЭС.

Требуется: оценить достаточность имеющихся в полосе частот ΔF_0 резервов РЧС для удовлетворения потребностей в спектре новой радиотехнологии.

Решение задачи предполагает выполнение нескольких процедур.

Процедура 1. *Определение резервов РЧС в рассматриваемой полосе частот ΔF_0 и в отдельном территориальном районе с помощью методики оценки загрузки, основанной на применении прямого метода* [5]. Данный метод пред-

усматривает зондирование частотно-территориального ресурса с использованием некоторого тестового средства и проверку условий обеспечения его ЭМС с действующими средствами. В качестве тестового РЭС в нашем случае выступает типовая радиолиния БС–АС рассматриваемой системы беспроводного доступа или подвижной связи при организации одного частотного канала. На карту территориального района наносится сетка, в ее узлах моделируется размещение БС тестового РЭС, определяются доступные для него участки спектра по условиям ЭМС БС и связанной с ней АС с действующими средствами, затем полученные результаты по полосе частот ΔF_0 и множеству узловых точек района обобщаются.

Для получения гарантированного результата АС должна располагаться в ближайшей к действующему РЭС точке в пределах зоны обслуживания БС. Доступными для тестового РЭС считаются частоты, при использовании которых базовой станцией на передачу обеспечивается ЭМС передатчиков и приемников БС и АС с действующими РЭС при организации связи в направлениях как сверху вниз, так и снизу вверх. Если же радиотехнология предусматривает применение метода кодового разделения сигналов абонентов, то при оценке загрузки РЧС должен учитываться групповой характер воздействия передатчиков АС на приемники действующих РЭС. В этом случае в расчетах вместо мощности сигнала передатчика тестовой АС на входе приемника затронутого действующего РЭС участвует суммарная мощность сигналов прогнозируемого числа АС, которые смогут обслуживаться одной БС.

Результаты расчетов могут быть представлены либо в виде зависимости от частоты $f \in \Delta F_0$ относительного числа узловых точек территориального района, в которых данная частота по условиям ЭМС недоступна для использования тестовым (новым) РЭС (т. е. не может быть реализована в качестве центральной (средней) частоты канала), — $P(f)$ (рис. 1), либо в виде распределения коэффициента использования РЧС по территориальному району — $Z(x, y)$ (рис. 2). При этом коэффициент Z представляет собой относительную часть полосы ΔF_0 , не доступную тестовому РЭС при размещении БС в точке с координатами (x, y) .

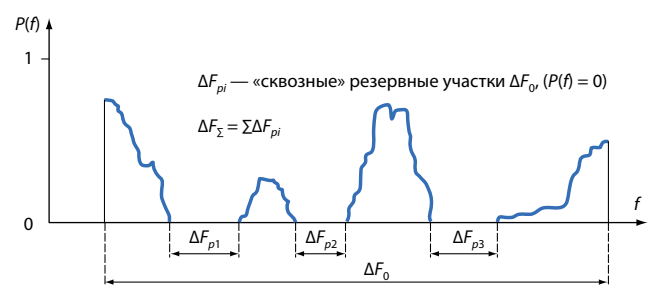


Рис. 1

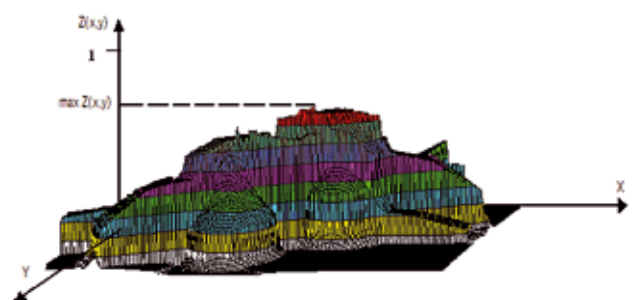


Рис. 2

Процедура 2. Оценка достаточности выявленных резервов РЧС в рассматриваемых полосе частот и территориальном районе для удовлетворения потребностей в спектре данной радиотехнологии. Содержание процедуры зависит от того, какую архитектуру — одноуровневую или многоуровневую — имеет эта радиотехнология.

Пусть в качестве радиотехнологии с одноуровневой архитектурой будет выступать система беспроводного доступа или подвижной связи, оборудование которой обеспечивает создание сети городского или районного масштаба. Оценивать достаточность резервов РЧС для такой радиотехнологии предлагается в несколько этапов с помощью последовательно усложняющихся критериев.

На первом этапе оценивается достаточность «сквозных» (доступных на территории всего района) участков спектра в пределах полосы частот ΔF_0 . Критерий достаточности (см. рис. 1) записывается в виде

$$\Delta F_{\Sigma}(P(f) = 0, f \in \Delta F_0) \geq \Delta F_{\Pi}, \quad (1)$$

где ΔF_{Σ} — суммарная величина участков полосы ΔF_0 с нулевым уровнем показателя загрузки РЧС $P(f)$.

При оценке достаточности резервов РЧС необходимо различать понятия «резервная полоса частот» ($P(f) = 0$) и «полоса частот, необходимая для новой радиотехнологии» (потребности в спектре, ΔF_{Π}). Резервная полоса частот рассматривается как участок спектра, доступный для присвоения центральной частоты тестовому РЭС. При ее определении учитывались спектральные и энергетические характеристики тестового и действующих РЭС. Параметр же ΔF_{Π} задается как полоса частот, свободная от излучений посторонних РЭС. В такой ситуации при выполнении критерия (1) потребности в РЧС новой радиотехнологии будут удовлетворяться с запасом. Между тем невыполнение критерия (1) еще не будет означать, что потребности в спектре данной радиотехнологии не могут быть удовлетворены. Выяснить это можно, оценив достаточность резервных участков РЧС для организации требуемого числа «сквозных» частотных каналов (n_k). Решать задачу предлагается путем моделирования, используя оптимальный алгоритм присвоения центральных частот n_k каналам в пределах участков спектра с уровнем загрузки $P(f) = 0$ с учетом требований по их частотному разнесу (Δf_k) (рис. 3).

Возможность удовлетворения потребностей в РЧС для рассматриваемой технологии в пределах «сквозных» участков спектра свидетельствует о допустимости выделения для нее полосы частот ΔF_0 применительно к данному территориальному району. При получении отрицательных результатов должна оцениваться возможность удовлетворения потребностей в спектре радиотехнологии при использовании «несквозных» участков спектра.

Эта задача решается на втором этапе. В каждой точке территориального района проверяется наличие резервной полосы частот для РЭС новой радиотехнологии, превыша-

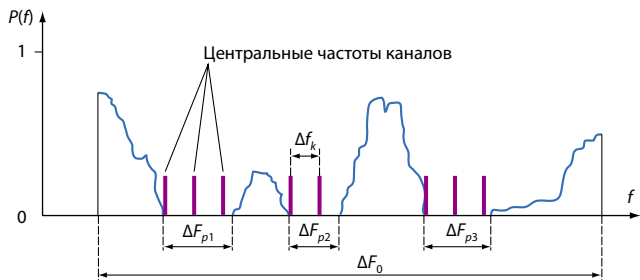


Рис. 3

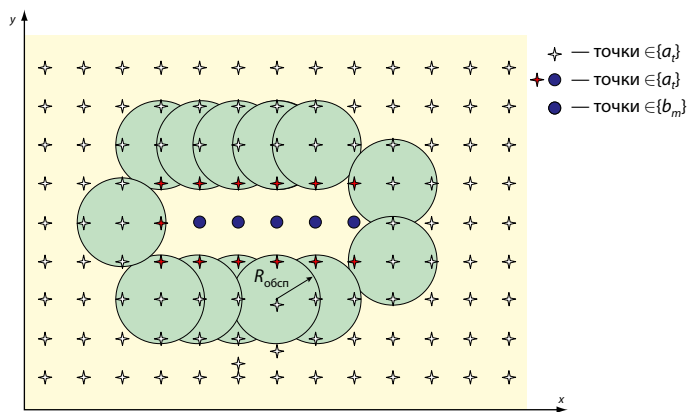


Рис. 4

ющей потребности в спектре (ΔF_{Π}). Критерий имеющихся резервов (см. рис. 2) может быть представлен в виде

$$\Delta F_0(1 - \max Z(x, y)) \geq \Delta F_{\Pi}. \quad (2)$$

Выполнение критерия (2) свидетельствует о том, что в любых точках территориального района суммарная величина резервных полос частот будет превышать заявленные потребности в спектре. А то обстоятельство, что резервные участки спектра в разных точках будут иметь различное положение на частотной оси, даже упрощает решение задачи внутрисистемной ЭМС РЭС новой радиотехнологии. Поэтому при выполнении критерия (2) применительно к данному территориальному району (см. рис. 1) может быть принято решение о возможности выделения полосы частот ΔF_0 для новой радиотехнологии. В противном случае фиксируется множество узловых точек $\{a_i\}$, для которых критерий (2) не выполняется.

Однако, как и в случае оценки достаточности «сквозных» участков РЧС, невыполнение критерия (2) еще не означает, что потребности в спектре для новой радиотехнологии не могут быть удовлетворены. Для оценки этого должны быть учтены особенности размещения узловых точек множества $\{a_i\}$ по территории района, положение резервных участков РЧС для каждой точки на частотной оси и определение возможности организации в их пределах заданного числа частотных каналов (n_k). Реализация этих процедур осуществляется в рамках третьего и пятого этапов.

На третьем этапе среди узловых точек множества $\{a_i\}$ определяются подмножества точек $\{b_m\}$, в которых заявленные телекоммуникационные услуги не могут быть удовлетворены с помощью БС, размещаемых в ближайших к ним (t -х) соседних точках, где достаточно резервов РЧС (т.е. критерий (2) выполняется). Критерий принадлежности произвольной i -й точки множества $\{a_i\}$ к подмножеству $\{b_m\}$ записывается в виде

$$\min_i (R_{it}) \geq R_{\text{обсл}}, \quad (3)$$

где R_{it} — расстояние между заданными i -й и t -й узловыми точками; $R_{\text{обсл}}$ — радиус зоны обслуживания базовых станций.

Полученные результаты проиллюстрированы на рис. 4, где в точках множества $\{a_i\}$ критерий (2) выполняется, а в точках множества $\{b_m\}$ не выполняется. Узловые точки, в которых не выполняется критерий 2 и выполняется критерий 3, составляют подмножество $\{b_m\}$. В этих точках достаточность резервов РЧС для новых радиотехнологий предлагается оценивать путем определения возможности фор-

мирования в резервных участках спектра заданного числа частотных каналов.

С этой целью на *четвертом этапе* из подмножества $\{b_m\}$ случайным образом выбирается очередная m -я узловая точка. При использовании данных о резервных и загруженных участках РЧС для точки $P_m(f)$ и с учетом требований о частотном разнесении частотных каналов (Δf_k) так же, как и на первом этапе, при помощи оптимального алгоритма определяется возможность организации заданного числа частотных каналов $n_k^* \leq n_k$ для оборудования, размещаемого в одной точке. При этом имеется допущение: число каналов для оборудования, размещаемого в одной точке (n_k^*), как правило, меньше числа каналов, необходимых для рассматриваемой технологии в территориальном районе в целом (n_k). При положительном результате решения этой задачи из подмножества $\{b_m\}$ исключаются узловые точки, расстояние до которых от данной точки меньше $R_{\text{обсл}}$. В этих точках доступ пользователей к информации может быть удовлетворен с помощью БС, размещаемой в рассмотренной m -й узловой точке. Процедуры на четвертом этапе последовательно выполняются для оставшихся точек подмножества $\{b_m\}$. Если после очередной процедуры подмножество $\{b_m\}$ окажется пустым, применительно к данному территориальному району может быть также принято решение о достаточности имеющихся в полосе частот ΔF_0 резервов РЧС и возможности ее выделения для новой радиотехнологии.

Задача *пятого этапа* — определение (при необходимости) относительного числа узловых точек или площади рассматриваемого территориального района, где не могут быть удовлетворены заявленные потребности в РЧС, и получение усредненных оценок данных величин по множеству вариантов выбора очередных узловых точек на четвертом этапе (\bar{b}_m), (\bar{S}_i). Эта информация характеризует ограничения на функционирование оборудования новой радиотехнологии в рассматриваемом территориальном районе и наряду с аналогичными данными, полученными для других территориальных районов, должна учитываться при принятии решения о целесообразности выделения заявленной полосы частот и разработке предложений по ее корректировке. Кроме того, ею может воспользоваться заявитель при разработке планов развития технологии в данном районе.

Типовая радиотехнология с *многоуровневой архитектурой* (как правило, трехуровневой) включает в себя оборудование для предоставления телекоммуникационных услуг в зонах разного размера. Так, в состав оборудования систем беспроводного доступа может входить оборудование для организации персональных и локальных сетей, для создания корпоративных сетей, а также сетей городского (районного) масштаба. Далее, по мере увеличения размера зон обслуживания РЭС многоуровневой радиотехнологии, будем рассматривать оборудование первого, второго и третьего уровней. Совместное функционирование оборудования разных уровней в общем территориальном районе основано на способе частотного разделения. Потребности в РЧС для рассматриваемых систем представляются в виде полос частот $\Delta F_{\Pi 1}$; $\Delta F_{\Pi 2}$; $\Delta F_{\Pi 3}$ или числа частотных каналов n_{k1} ; n_{k2} ; n_{k3} для оборудования каждого уровня. Оценку достаточности резервов РЧС для новой многоуровневой радиотехнологии предлагается также осуществлять на основе системы последовательно усложняющихся критериев.

Сначала оценивается достаточность «сквозных» участков спектра для оборудования каждого уровня. Для этого применяются данные о загрузке рассматриваемых полосы частот и территориального района в виде функций $P_1(f)$,

$P_2(f)$ и $P_3(f)$, полученные при использовании в качестве тестовых РЭС радиотехнологий оборудования первого, второго и третьего уровня соответственно. При задании показателя загрузки $P = 0$ для оборудования каждого уровня в пределах полосы ΔF_0 определяются участки спектра, которые могут использоваться ими в качестве «сквозных»: $\{\Delta f_{1\text{ск}}\}$; $\{\Delta f_{2\text{ск}}\}$; $\{\Delta f_{3\text{ск}}\}$. Определяется суммарная величина указанных участков ($\Delta f_{1\text{ск}\Sigma}$, $\Delta f_{2\text{ск}\Sigma}$, $\Delta f_{3\text{ск}\Sigma}$) и осуществляется их ранжирование. Пусть $\Delta f_{1\text{ск}\Sigma} > \Delta f_{2\text{ск}\Sigma} > \Delta f_{3\text{ск}\Sigma}$. Критерием достаточности резервных «сквозных» участков РЧС для новой радиотехнологии является выполнение неравенств

$$\begin{cases} \Delta f_{\Pi 3} \leq \Delta f_{3\text{ск}\Sigma} \\ \Delta f_{\Pi 3} + \Delta f_{\Pi 2} \leq \Delta f_{2\text{ск}\Sigma} \\ \Delta f_{\Pi 3} + \Delta f_{\Pi 2} + \Delta f_{\Pi 1} \leq \Delta f_{1\text{ск}\Sigma} \end{cases} \quad (4)$$

Если критерий (4) не выполняется, при определении возможности выделения «сквозных» участков РЧС должна оцениваться их достаточность для присвоения «сквозных» частот требуемому числу каналов оборудования каждого уровня. Решать эту задачу предлагается методом справедливой абсолютной уступки [6], позволяющим корректно учитывать изменение резервов РЧС для оборудования других уровней при выборе частот для оборудования какого-то одного уровня. Вначале определяется вид оборудования, резервы спектра для которого минимальны:

$$m_0 = \underset{m}{\operatorname{argmin}} (\Delta f_{1\text{ск}\Sigma}, \Delta f_{2\text{ск}\Sigma}, \Delta f_{3\text{ск}\Sigma}), \quad m = \overline{1, 3}. \quad (5)$$

Затем выбирается частота (как правило, первый возможный ее номинал) для канала оборудования вида m_0 . Выбранная частота (f_1) используется в качестве первого возможного решения. После этого формируется вектор значений частных критериев, соответствующих первому решению $D^1 = (d^1_1, d^1_2, d^1_3)$, где d^1_m — относительная величина резервов спектра, оставшихся у оборудования m -го уровня после выбора частоты f_1 для частотного канала оборудования уровня m_0 .

Далее формируется вектор значений частных критериев, соответствующих второму решению (частоте f_2 — альтернативной частоте f_1) $D^2 = (d^2_1, d^2_2, d^2_3)$, и в соответствии с [6] определяется суммарная абсолютная уступка Δ_{abc} :

$$\Delta_{\text{abc}} = \sum_{m=1}^M (d^2_m - d^1_m). \quad (6)$$

Выбор предпочтительного номинала частоты для частотного канала оборудования рассматриваемого уровня производится по правилу

$$f_{m_0} = \begin{cases} f_1, & \text{при } \Delta_{\text{abc}} \leq 0 \\ f_2, & \text{при } \Delta_{\text{abc}} > 0. \end{cases} \quad (7)$$

Заключительное действие — переопределение вектора D^1 для предпочтительного решения. Если в соответствии с (7) решение принято в пользу f_1 , то вектор D^1 остается без изменений, в противном случае компонентам вектора D^1 присваиваются компоненты вектора D^2 .

Описанные действия выполняются в отношении всех частот, которые могут быть выбраны для частотного канала оборудования уровня m_0 . По завершении выбора предпочтительной частоты для оборудования уровня m_0 с помощью аналогичных процедур проводится выбор оставшихся частот для оборудования рассматриваемой технологии. Задача считается решенной, когда оборудованию каждого из уровней присвоено необходимое число «сквозных»

частот. В противном случае должна оцениваться возможность удовлетворения потребностей в РЧС многоуровневой радиотехнологии, когда «сквозные» участки спектра не могут быть для нее предоставлены. При решении данной задачи предложено последовательно применять приведенные ниже критерии.

По результатам оценки загрузки РЧС, полученным по отношению к оборудованию уровней $Z_1(x, y)$, $Z_2(x, y)$, $Z_3(x, y)$, применительно к каждой узловой точке определяется величина резервных участков спектра:

$$\Delta f_{kp}(x, y) = \Delta F_0 [1 - Z(x, y)], \quad k = \overline{1, 3}.$$

Первым критерием достаточности резервов РЧС может служить неравенство

$$\min_{m, (x, y)} [\Delta f_{1p}(x, y), \Delta f_{2p}(x, y), \Delta f_{3p}(x, y)] \geq \Delta f_{\Pi 1} + \Delta f_{\Pi 2} + \Delta f_{\Pi 3}. \quad (8)$$

Выполнение условия (8) означает, что резервов РЧС достаточно для полного удовлетворения потребностей в спектре новой радиотехнологии при размещении оборудования различного уровня в любой точке территориального района [7]. Для точек района, где критерий (8) не выполняется, необходим более детальный анализ достаточности резервов РЧС. Пусть в очередной такой (i -й) точке соотношение между резервными полосами для оборудования различного вида имеет вид $\Delta f_{1p}(x_p, y_i) > \Delta f_{2p}(x_p, y_i) > \Delta f_{3p}(x_p, y_i)$. Тогда второй критерий можно записать как

$$\begin{cases} \Delta f_{\Pi 3} \leq \Delta f_{3p}(x_i, y_i) \\ \Delta f_{\Pi 3} + \Delta f_{\Pi 2} \leq \Delta f_{2p}(x_i, y_i) \\ \Delta f_{\Pi 3} + \Delta f_{\Pi 2} + \Delta f_{\Pi 1} \leq \Delta f_{1p}(x_i, y_i). \end{cases} \quad (9)$$

Для узловых точек, в которых не выполняется критерий (9), должна оцениваться достаточность резервов РЧС с учетом их расположения на частотной оси для организации требуемого числа каналов ($n_1^* \leq n_1$; $n_2^* \leq n_2$; $n_3^* \leq n_3$) для оборудования разного уровня. Это предлагается делать с использованием метода справедливой абсолютной уступки [6], позволяющего корректно учитывать изменение резервов РЧС для оборудования других уровней при выборе частот для оборудования одного уровня. Алгоритм решения задачи аналогичен изложенному выше при рассмотрении возможности присвоения «сквозных» частот (5) — (7). В результате устанавливается достаточность резервов РЧС для многоуровневой радиотехнологии или множество узловых точек, в которых резервов спектра недостаточно для оборудования всех уровней $\{I\}$. По завершении данного этапа определяется множество узловых точек $\{c_i\}_1$; $\{c_i\}_2$; $\{c_i\}_3$, в которых не могут быть удовлетворены заявленные телекоммуникационные услуги для оборудования каждого уровня с помощью оборудования (БС), размещенного в ближайших соседних (t -х) точках, где достаточно резервов РЧС. Для указанных точек должно выполняться условие

$$\min_t (R_{it}) \geq R_{\text{обсл}t}, \quad (10)$$

где R_{it} — расстояние между t -й узловой точкой (в которой достаточно резервов РЧС) и рассматриваемой i -й точкой ($i \in \{I\}$); $R_{\text{обсл}t}$ — радиус зоны обслуживания БС или оборудования t -го уровня.

Множества точек $\{c_i\}_1$; $\{c_i\}_2$; $\{c_i\}_3$ определяют ограничения на развитие данной радиотехнологии на территории рассматриваемого района.

Процедура 3. *Обобщение результатов оценки достаточности резервов спектра, полученных применительно к различным территориальным районам, и принятие общего решения о возможности выделения заявленной полосы частот рассматриваемой радиотехнологии.* Безусловное общее положительное решение может быть принято, если потребности в РЧС для новой радиотехнологии будут удовлетворены в каждом из районов. В противном случае при принятии в целом положительного решения должны быть оговорены ограничения на ее развитие на тех или иных участках территориальных районов. В случае, если ограничения на развитие радиотехнологии по множеству территориальных районов значительны, в выделении для нее заявленной полосы частот будет отказано. Впоследствии может быть рассмотрен вопрос о выделении технологии альтернативных полос частот или принятии мер по высвобождению данной полосы частот от действующих РЭС.

Выводы. Реализация предложенного подхода позволит повысить обоснованность и прозрачность решений по выделению полос частот для перспективных систем беспроводного доступа и подвижной связи за счет перехода к количественным методам определения возможностей совместного функционирования новых и действующих РЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 07.07.2003 № 1263-ФЗ «О связи»//Российская газета от 10 июля 2003 г. (СЗ РФ 2003, № 28).
2. Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. — М.: Техносфера, 2009.
3. Володин В.Н. Проблемы операторских компаний при получении разрешений на выделение частотных каналов//Электросвязь. — 2006. — № 5.
4. Ковтунова И.Г., Павлюк А.П., Цветков С.А., Якименко В.С. Методика детальной оценки загрузки радиочастотного спектра в территориальном районе//Радиотехника. — 2001. — № 12.
5. Цветков С.А., Якименко В.С. Применение информации о загрузке РЧС для управления его использованием//Электросвязь. — 2004. — № 4.
6. Теория прогнозирования и принятия решений: Учебное пособие под ред. С.А. Саркисяна. — М.: Высшая школа, 1977.
7. Цветков С.А., Якименко В.С. Методы оценки совместного функционирования РЭС новых радиотехнологий и действующих радиослужб//Электросвязь. — 2005. — № 7.

Получено 22.03.10