

УПРАВЛЕНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА – КАК УПРАВЛЕНИЕ ПОМЕХАМИ

Е.Е. Володина¹, Е.Е. Девяткин²

¹Московский технический университет связи и информатики

²Научно-исследовательский институт радио

PROSPECTIVE METHODS OF RADIO-FREQUENCY SPECTRUM MANAGEMENT

E.E. Volodina, E.E. Devyatkin

Рассматриваются различные аспекты управления радиочастотным спектром с целью получения ответа на главный вопрос: может ли способствовать эффективному использованию спектра применение метода регламентирования помех, вместо регламентирования параметров передатчиков?

Ключевые слова: управление, спектр, либерализация, уровень помехи, новые технологии, полосы частот, радиопередатчик, текущая нагрузка РЧС, конверсия РЧС, WAPECS, электромагнитная совместимость.

In given article are considered various aspects of spectrum management with the purpose to answer to the main question: whether it is possible to use a spectrum more effectively than to apply spectrum management methods which regulate interferences, instead of transmitters' parameters regulation?

Keywords: management, spectrum, liberalization, noise level, new technology, frequency bands, transmitter, radio spectrum current load, radio spectrum conversion, WAPECS, electromagnetic compatibility.

ВВЕДЕНИЕ

Первоначально управление спектром сводилось к разделению всех пользователей по территориальному принципу (географически) или по частоте (спектрографически). Этот простой метод минимизации помех применялся традиционно из-за плохих характеристик передатчиков и приемников, эксплуатировавшихся ранее.

С появлением новых радиослужб и с ростом потребности в большей пропускной способности, в процедуре управления РЧС был введен способ разделения спектра на полосы для различных типов служб. Так, согласно этому подходу часть спектра распределяется первичным пользователям, которые имеют право использовать спектр и не должны страдать от «вредных» помех. Вторичные пользователи могут совместно с первичными использовать тот же участок спектра, при условии, что они не будут создавать помехи.

Существует третий класс пользователей. Таким пользователям полосы частот не выделяются, а рекомендуются к использованию при соблюдении определенных технических условий (пример SRD устройства).

По мнению многих специалистов и экспертов, уровень использования РЧС в странах Евросоюза и во всем мире крайне низкий. Из-за физических ограничений и условий распространения радиоволн диапазон частот, удобный для использования большинством перспективных радиотехнологий, находится в пределах от 70 МГц до 5 ГГц. Этот диапазон занят такими службами, как аналоговое телевидение, ЧМ радиовещание, традиционными наземными и воздушными подвижными службами, а также

военными службами. Как правило, технологиям, используемым этими службами, 30 или более лет, и они спектрально неэффективны по сравнению с современными технологиями.

Для защиты устаревших технологий от помех были установлены правила совмещения (совместной работы РЭС), которые приводят к неэффективному использованию спектра. К тому же, широкое распространение принципа распределения РЧС – «первый обратившийся обслуживается первым» также приводит к неэффективному использованию РЧС.

Внедрение новых технологий, требующих освобождения указанных полос частот, нацелено на удовлетворение все возрастающих потребностей общества в различных услугах связи. Инвестиции будут вкладываться только в ту технологию, для которой доступ к соответствующему участку спектра является равноправным и предсказуемым. Не все эти новые технологии могут успешно работать в качестве вторичных служб.

Применение давно устаревших стандартов с точки зрения предотвращения помех кажется анахроничным. Типичным примером может служить защита ЧМ приема, которая использует направленную антенну на высоте 10 м с характеристиками фильтра приемника, основанными на технологиях начала 1980-х. Тем временем, большинство пользователей предпочитает мобильные или портативные приемники с короткой встроенной антенной, при этом технология приемников намного превосходит технологию оборудования, для которого в 1980-х годах были установлены стандарты.

В отчете [2] сделана попытка определить степень использования спектра в городских, при-

городных и сельских районах в пределах Лондона. Из полученных результатов следует, что большие участки спектра (даже в городском районе Лондона) в течение 24 часов остаются в значительной степени незанятыми. Подобные эксперименты в США дали аналогичные результаты. Исходя из этого можно утверждать, что существующие методы не максимизируют использование спектра и, следовательно требуются новые подходы и методы управления.

Управление использованием РЧС и управление помехами всегда взаимосвязаны. Использование РЧС потенциально приводит к помехам, а помехи могут препятствовать работе радиоаппаратуры. Очевидная связь причины и следствия. Радиоизлучение – это причина, а помехи – следствие (побочный эффект). Однако большинство методов управления воздействуют на причины радиопомех, а не на последствия. Обычно применяются ограничения на мощность передатчика, на направленность антенны и т.д., чтобы радиопередатчики не создавали нежелательных помех.

В последние годы специалисты стали признавать, что уместно ввести ограничения на помехи. Было предложено несколько методов их регламентирования и некоторые из них уже реализованы. Такие методы, как «маски для внеполосных излучений» и «предельные величины плотности потока мощности» должны были влиять на помехи, а не управлять непосредственно их причинами.

Технологии также играют свою роль в создании соответствующей радиопомеховой обстановки. Были разработаны системы, борющиеся с помехами или позволяющие системам радиосвязи работать в ситуации, в которой потенциально существуют вредные помехи. Поэтому необходимо определить, может ли управление спектром рассматриваться как управление результатом, то есть помехами, а не управление причиной, то есть радиопередатчиками. Изучению этого вопроса посвящены отчет по исследованию моделей регламентирования радиопомех в европейском сообществе [3] и данная статья.

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОМЕХАМИ

Ниже рассмотрены различные методы управления спектром, которые отличаются по способам деления спектра между пользователями и могли бы считаться подходами к управлению помехами.

Управление путем регулирования уровней мощности. Альтернативой традиционному подходу управления спектром мог бы являться следующий сценарий. Пользователям выдается разрешение не на использование РЭС, а на излучаемую мощность. В таком сценарии вместо деления спектра на полосы под конкретные службы, он мог бы быть разделен на полосы, в которых действуют службы с малой, средней и большой мощностью. Пример такого распределения приводится на рис. 1. Однако такой подход не дает существенного выигрыша по сравнению с традиционным [3].

Управление путем регулирования окружающих помех. Подобно разделению спектра по мощности излучения, РЧС мог бы быть разделен на основе количества помех, которое можно было бы ожидать при использовании определенного участка спектра. Таким образом, спектр мог бы быть определен в терминах «помеховой обстановки» с конкретно заданным низким, средним или высоким уровнем (рис. 2). При этом способе нет прямой корреляции с количеством помех, которое могло бы быть создано службами в этих полосах, но он ограничит количество помех, которое должно попасть в смежные полосы.

Комбинация регулирования уровней мощности и помеховой обстановки могла бы стать жизнеспособной системой. При этом среда с низкими помехами не соседствует со службами, излучающими большую мощность, которые могут создать проблемы из-за влияния блокирования и внутрисполосных помех.

Управление путем регулирования ширины занимаемой полосы частот. Различные технологии требуют полосы радиочастот различной ширины. Современные широкополосные радиотехнологии могут использовать полосу шириной 10 МГц, тогда как для узкополосной связи может потребоваться не больше 15 кГц.

Некоторые широкополосные системы могут допускать определенное количество узкополосных помех и наоборот. Помехоустойчивость этих технологий зависит как от самих технологий, так и от относительных уровней помех. Сверхширокополосные системы, как правило, совместимы с узкополосными системами при определенном соотношении уровней взаимных помех и использовании специальных методов обработки сигналов (рис. 3).

Таким образом, способ управления спектром мог бы заключаться в разделении его между системами, требующими различной ширины полосы, и при некотором контроле над относительными уровнями помех. Например, полоса для широкополосной службы с большой мощностью может допустить использование узкополосных систем с низкой мощностью и наоборот.

Управление путем распределения и присвоения частот, основанное на непрерывном анализе текущей загрузки РЧС. Появление программно переконфигурируемых и интеллектуальных средств радиосвязи, других передовых технологий при использовании распределения и присвоения частот позволяет предусмотреть сценарий, при котором пользователи радиосредств сами (или даже само используемое ими оборудование) выбирают подходящий участок спектра, мощность, вид модуляции и так далее, фактически вовлекая некоторые или все вышеупомянутые методы управления одновременно и в динамике (рис. 4). В таком сценарии решения относительно приемлемых уровней помех, а также о том, сколько помех может быть создано соседним

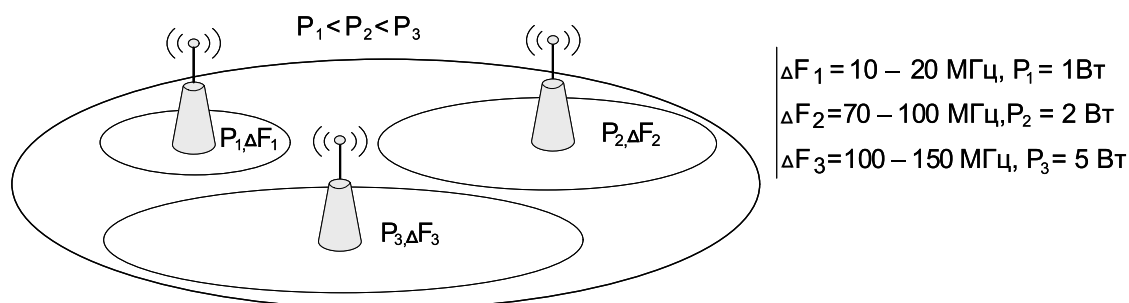


Рис. 1. Пример распределения спектра по уровню мощности излучения РЭС

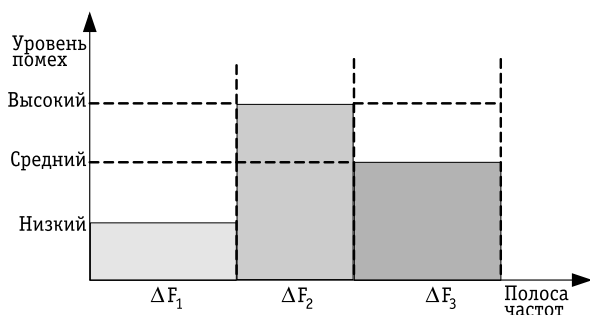


Рис. 2. Пример распределения спектра по уровню помех

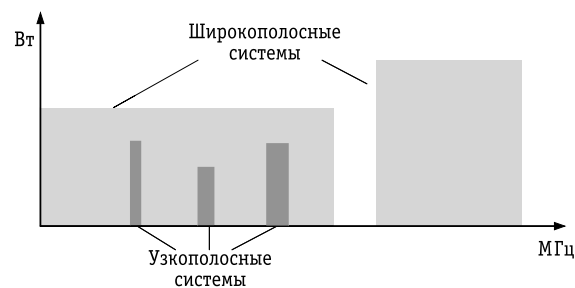


Рис. 3. Пример совместного использования спектра широкополосными и узкополосными системами

системам, принимались бы непрерывно, так что службы и технологии будут обязаны «общаться» между собой.

Это не является анархией, где каждый защищает себя сам, это ситуация, в которой в значительной степени устранены традиционные различия между разными радиотехнологиями и разными пользователями спектра, позволяя радиопередатчикам и приемникам свободно перестраивать свои рабочие частоты, как им нужно и как удобно.

Управление путем перераспределения и конверсии РЧС. Если проанализировать используемые службами диапазоны частот, то можно увидеть, что многие из них не являются оптимальными. Тщательное перераспределение и конверсия радиоспектра могли бы привести к массовому и всеобъемлющему улучшению использования РЧС и, что еще более важно, освобождению спектра для тех служб, у которых потребность в частотах увеличивается (рис. 5).

Перераспределение и конверсия РЧС направлены на повышение эффективности использования радиочастотного спектра, гармонизированного использования РЧС, обеспечения возможности внедрения новых стандартов радиооборудования.

Уместно отметить, что внедрение перспективной радиотехнологии может потребовать проведения как конверсии, так и перераспределения РЧС.

Перераспределение РЧС должно учитывать ряд существующих ограничений:

– Некоторые частоты обладают уникальными особенностями. К примеру, радиоастрономия

использует спектральные линии, обусловленные излучением определенных химических элементов (например, излучения водорода на частоте 1420,406 МГц). Если бы эти частоты не были доступны для радиоастрономии, то возможность проведения исследований была бы полностью утрачена.

– Некоторые службы имеют исключительно большие объемы пользовательского оборудования. Если взять, к примеру, ЧМ радиовещание, и если предположить, что в Европе на человека приходится один приемник, то тогда сегодня используется более 500 миллионов ЧМ радиоприемников. Изменение частотных полос, используемых для этих служб, повлекло бы за собой массовую замену оборудования.

Могут также существовать и другие ограничения на использование определенных частот для конкретных служб или радиотехнологий. Различные диапазоны частот обладают различными характеристиками распространения, и именно этот фактор привязывает определенные службы к конкретным диапазонам частот.

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ПОМЕХАМИ

В качестве направлений совершенствования подходов к управлению помехами предлагается применять концепцию WAPECS (Wireless Access Policy for Electronic Communications Services, политика беспроводного доступа для электронных средств связи) и введение более жестких требований к характеристикам приемника. WAPECS выступает в роли политики использования РЧС, а требования

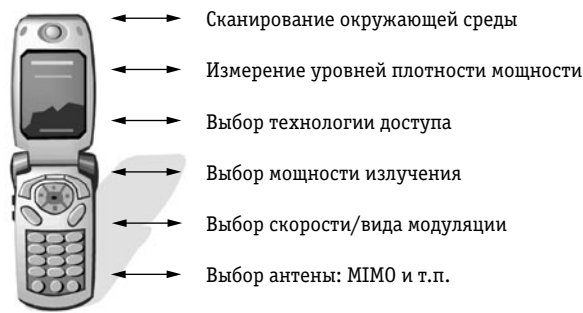


Рис. 4. Пример выбора свободного участка спектра интеллектуальным средством радиосвязи

к характеристикам приемника в роли инструмента, благодаря которому возможно использование такой политики.

Основной идеей WAPECS является упрощение доступа к радиочастотному спектру при минимальных требованиях его использования. Предполагается, что WAPECS сможет заменить Национальную таблицу распределения полос частот между радиослужбами стран-соучастников. Спектр будет поделен на полосы частот независимо от радиослужб и категорий. Доступ к каждой полосе будет ограничен рядом минимальных требований по электромагнитной совместимости (ЭМС). При их соблюдении оператор в данном диапазоне может предоставлять любые услуги связи и внедрять различные радиотехнологии. Более подробно концепция WAPECS, ее преимущества и возможности внедрения в России изложены в [9].

Ужесточение требований к характеристикам приемника. Поскольку схема приемника играет главную роль в подавлении искаженных сигналов, то в качестве возможного метода регулирования помех можно было бы принять такие характеристики приемника, которые повысят невосприимчивость приемника к нежелательным сигналам.

Причиной помехи всегда является приемник с неудовлетворительными характеристиками и от нее можно избавиться с помощью «достаточно хорошего» приемника (хотя «достаточно хорошему» приемнику в некоторых ситуациях могут потребоваться антенны с адаптируемым [нулевым] усилением в направлении помехи, или какие-либо другие сложные или дорогие средства) [8]. Следовательно, использование более совершенных приемников уменьшит помеху или позволит передавать больше сигналов до появления недопустимой помехи.

Устойчивость работы приемника можно повысить, например, при помощи фильтров с более качественными характеристиками, лучшего экранирования чувствительных участков с высоким коэффициентом усиления или внедрения улучшенных алгоритмов обработки сигнала. Не все перечисленные методы можно реализовать только путем отдельных модификаций на приемной стороне,

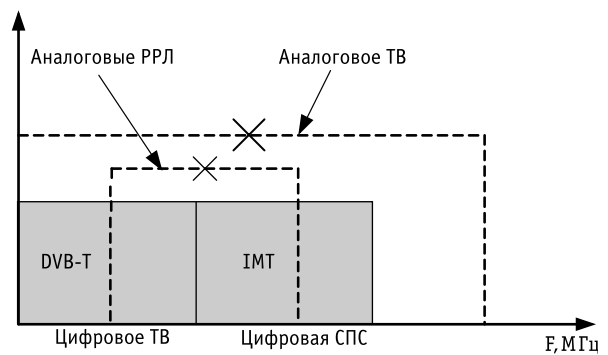


Рис. 5. Пример перераспределения спектра для цифровых систем связи

иногда для этого может потребоваться перепроектирование всей системы связи, включая параметры и схему передатчика.

Ужесточение требований к характеристикам приемника ограничено техническими и экономическими факторами. Некоторые структуры приемников могут обеспечить надежную связь при малых затратах, если выполнены надлежащие процедуры проектирования и выбраны оптимальные соотношения. Радиочастотные усилители, смесители и фильтры являются основными составляющими структуры всех приемников. Качество работы системы зависит от каждого индивидуального блока, входящего в состав приемника. Разные цели проектирования приемника, как, например, достижение линейности и высокой чувствительности, могут вступать в противоречие друг с другом. Система, спроектированная для обеспечения низкого уровня шума, не всегда имеет наилучшую линейность, а система с высокой линейностью обычно производит больше шума, поэтому необходимо искать компромисс [1, 10].

Очевидно, что с теоретической точки зрения более жесткие характеристики приемника обеспечат более эффективное использование спектра. Однако главный вопрос заключается в том, какая экономия спектра может быть достижима и какая от этого будет финансовая выгода.

В качестве метрики характеристик была использована пропускная способность типовых систем до и после изменения параметров приемника. Изменения пропускной способности были пересчитаны в спектральные потребности. Определив экономическую ценность этого количества спектра можно оценить экономический выигрыш от применения рассматриваемых мер и сравнить его с оценкой затрат. Результаты детального анализа и подробное техническое описание можно найти в [3].

Ниже приводится оценка результирующего технического и экономического выигрыша от введения улучшенных характеристик приемника для систем подвижной связи 3G и GSM.

СИСТЕМА ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ 3G

Помехи в сетях UMTS сокращают их пропускную способность, поэтому и операторы UMTS и поставщики оборудования заинтересованы в усовершенствовании характеристик работы приемника в условиях помех. За последние годы проводилось изучение возможностей улучшения схем приемников. Два подобных исследования, выполненные Группой технических спецификаций для сетей радиодоступа 3GPP, были направлены на исследование методов увеличения пропускной способности сети посредством использования технологий подавления помех в подвижном приемнике:

- изучение возможности уменьшения влияния помехи от общего контрольного канала (Common Pilot Channel, CPICH) на оборудование пользователя [6];

- изучение возможности подавления помехи в пользовательском оборудовании UTRA FDD [7].

Анализ, проведенный в этих исследованиях, показывает, что благодаря системам уменьшения помех можно получить обоснованное увеличение пропускной способности от 10 до 20%. В диапазоне ниже 2500 МГц, выделенных ВКР для IMT2000, зарезервировано 2×60 МГц (1920–1980 МГц для линии вверх и 2110–2170 МГц для линии вниз) для UMTS FD [5].

Благодаря улучшению характеристик терминала, описанным выше способом полученное увеличение эффективности составит от 10 до 20%, что соответствует одному или двум блокам частот 2×5 МГц.

Улучшение технических характеристик приемника приведет к несомненному увеличению потенциальной пропускной способности полос, выделенных UMTS FDD, при любой заданной плотности размещения базовых станций.

Для оценки финансовой выгоды от увеличившейся таким образом пропускной способности был проанализирован объем лицензионных сборов, выплаченных операторами 3G за период 2000–2003 гг. Финансовая выгода определялась путем расчета относительной средней стоимости 3G лицензии в Евросоюзе на 1 МГц. То есть, обладая информацией о количестве сэкономленного спектра, за счет введения более жестких требований к приемникам можно определить финансовую выгоду от такой процедуры.

Несмотря на большую разницу в размерах платежей за лицензии по европейским странам, был рассчитан средний размер платежей. Другой причиной различий в размерах лицензионных выплат стал телекоммуникационный кризис 2001 г., который пришелся на середину процесса лицензирования и был в значительной степени вызван самим процессом лицензирования, что привело к очень большим предложениям цены на 3G лицензии в Великобритании и Германии. Однако стоит отметить и то, что 3G лицензии были проданы до того, как стало доступным оборудование и терминалы для коммерческой эксплуатации сети 3G.

В табл. 1 приводятся результаты проведенного анализа и предполагаемая выгода.

В таблице даны низкие оценки, поскольку оценка возможного количества спектра, высвобождаемого на техническом уровне в результате усовершенствования характеристик приемника 3G, сама по себе является консервативной, равно как и оценка реализации выигрыша, полученная только за счет стоимости 3G лицензии. В действительности, размеры прибыли от высвобождения полосы частот 5–10 МГц в диапазоне 3G будут значительно больше, чем вышеупомянутые 6,2–12,4 млрд евро.

Как показывает таблица 1, безубыточная модернизация одного 3G терминала составляет от 50 до 100 евро. Так как примерный рост затрат на необходимую модернизацию в условиях массового рынка портативных приборов составляет менее 50 евро за терминал, приходим к выводу, что затраты на перечисленные ранее технические усовершенствования будут более чем в полной мере компенсированы экономической прибылью. Таким образом, внедрение этих новшеств для производителей терминалов 3G и операторов связи является целесообразным.

ЦИФРОВАЯ СОТОВАЯ СИСТЕМА МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ GSM

Операторы и производители систем GSM рассмотрели ряд технических методов повышения пропускной способности сетей GSM. Одна из технологий, которая касается в основном работы подвижных станций, называется SAIC – подавление помех с использованием одной антенны. SAIC – это обобщенное название методов, использующих обработку сигнала для уменьшения или устранения помехи без использования нескольких антенн и, таким образом, позволяющих увеличить спектральную эффективность сетей GSM на линии вниз путем модификации пользовательских терминалов.

Анализ исследований 3GPP показал, что улучшение требуемого отношения С/И с 1 дБ до 3 дБ в переносных устройствах вполне достижимо. Моде-

Таблица 1. Результаты увеличения пропускной способности сетей 3G посредством использования технологий подавления помех

Параметры	Значения
Общее население Евросоюза	494 млн чел.
Увеличение пропускной способности сети	от 10 до 20%
Экономия спектра	от 5 до 10 МГц
Финансовая выгода	от 6,2 до 12,4 млрд евро
Предполагаемое проникновение 3G на момент внедрения	25%
Ожидаемое количество модифицируемых терминалов 3G	124 млн
Безубыточные дополнительные затраты при замене одного терминала	от 50 до 100 евро

лирование четырех разных сценариев работы сети показало, что это улучшение можно направить на увеличение пропускной способности или на сужение полосы частот в размере от 5 до 15%.

В Европе для работы сетей GSM в диапазонах 900 и 1800 МГц выделена суммарная полоса частот 220 МГц (2×110 МГц). При усовершенствовании вышеописанным способом характеристик терминала достижимый рост пропускной способности от 5 до 15% соответствует полосе частот от 2×5,5 МГц до 2×16,5 МГц, или же эквивалентному возрастанию пропускной способности сетей при любой плотности расположения базовых станций.

Для оценки выигрыша от усовершенствования приемников была вновь проанализирована сумма затрат операторов на оплату получения 3G лицензий. На сегодняшний день рыночная цена спектра лучше отражается стоимостью спектра 3G, нежели GSM. Европейские мобильные операторы приступили к переходу на 3G, и все меры, направленные на высвобождение спектра 2G (GSM) и обеспечение его доступности для развертывания 3G, представляют собой значительный коммерческий интерес. Таким образом, к случаю повышения эффективности сетей 2G могут быть применены те же оценки стоимостей, а также соответствующие разъяснения, как и для случая 3G.

Как и в случае с 3G, данный анализ дает низкие оценки. Как показывает табл. 2, безубыточная модернизация одного GSM терминала составляет от 15 до 46 евро. При этом модернизации должны подвергнуться 445 миллионов терминалов GSM.

Цикл обновления терминалов GSM достаточно короткий и составляет 2–3 года. Так как примерный рост затрат производства на необходимую модернизацию в условиях огромного и зрелого рынка мобильных телефонов GSM составит менее 15 евро за терминал, то затраты на перечисленные ранее технические усовершенствования будут более чем в полной мере компенсированы экономической прибылью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показывает, что улучшение работы приемника в различных помеховых условиях с технической точки зрения возможно, учитывая инновационные достижения как в области оборудования, так и в области программного обеспечения. Эти улучшенные технологии увеличат пропускную способность системы и, таким образом, улучшат эффективность использования спектра путем осуществления контроля помех в приемнике. Затраты на подобные усовершенствования значительно перекрываются выгодами, получаемыми от повышения эффективности использования спектра.

В условиях рынка подвижной связи системным поставщикам и операторам связи выгодно вкладывать средства в технологии, позволяющие эффективно использовать РЧС.

Таблица 2. Результаты увеличения пропускной способности сетей GSM посредством использования технологий подавления помех

Параметры	Значения
Общее население Евросоюза	494 млн чел.
Увеличение пропускной способности сети	от 5 до 15%
Экономия спектра	от 5,5 до 16 МГц
Финансовая выгода	от 6,8 до 20,5 млрд евро
Предполагаемое проникновение GSM на момент внедрения	90%
Ожидаемое количество модифицируемых терминалов 3G	445 млн.
Безубыточные дополнительные затраты при замене одного терминала	от 15 до 46 евро

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутенко В.В., Бессилин А.В., Володина Е.Е., Девяткин Е.Е., Суходольская Т.А. Концепция WAPECS как современное направление использования РЧС. Электросвязь. 2008. № 9.
2. Отчет OFCOM. <http://www.ofcom.org.uk/consult/condocs/sfr/sfr2/sfr.pdf>.
3. Отчет по исследованию моделей регламентирования радиопомех в европейском сообществе. Eurostrategies & LS telcom. 2007.
4. Establishment of an interference temperature metric to quantify and manage interference and to expand available unlicensed operation in certain fixed, mobile and satellite frequency bands. ET Docket No. 03-237; FCC.
5. <http://www.umtsworld.com/technology/frequencies.htm>
6. Feasibility study on the mitigation of the effect of the common pilot channel (CPICH) interference at the user equipment (Release 5). 3GPP TR 25.991 V5.1.0, 12.2002.
7. Feasibility study on interference cancellation for UTRA FDD user equipment (UE) (Release 7). 3GPP TR 25.963 V7.0.0, 04.2007.
8. Modern Spectrum Management Alternatives, Matheson R. J. NTIA, 2004.
9. Order to FCC Docket 2–237. May 2. 2007.
10. Understanding and enhancing sensitivity in receivers for wireless applications. Technical Brief SWRA030. Texas Instruments.
11. Webb, Cave, Doyle. Essentials of Modern Spectrum Management, 2007

Володина Елена Евгеньевна, к.э.н., доцент кафедры «Экономика связи» Московского технического университета связи и информатики, генеральный директор ЗАО Информационное агентство «ИнформКурьер-Связь», главный научный сотрудник НИИРадио, зам. председателя отделения РАЕН «Экономика и качество систем связи», тел.: +7 (499) 192-84-74, e-mail: evolodina@list.ru

Девяткин Евгений Евгеньевич, к.э.н., начальник лаборатории НТЦ анализа ЭМС НИИРадио, тел.: +7 (499) 267-15-01, e-mail: deugene@list.ru.