



РЕГИОНАЛЬНОЕ СОДРУЖЕСТВО В ОБЛАСТИ СВЯЗИ

**Справочник по перспективам внедрения систем когнитивного радио в
диапазоне УВЧ в странах участников РСС**

Астана, 23-24 февраля 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. Термины и определения.....	3
2. Общая информация о когнитивном радио	6
2.1 Геолокационная база данных	6
3. Технические аспекты реализации систем когнитивного радио.....	12
3.1 Анализ технических аспектов реализации обмена данными в базе данных	12
3.2 Определение идентификаторов набора правил использования спектра.....	13
3.3 Определение дополнительных параметров	14
4. Положение дел по внедрению когнитивного радио в странах участников РСС	16
4.1 Положение дел по внедрению когнитивного радио в Российской Федерации.....	16
4.2. Вопросы использования когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа в полосе частот 470-686 МГц.....	19
5. Защита вещательных служб в полосе радиочастот 470-790 МГц	39
5.1 Исследования совместимости устройств WSD и телевизионных станций, проведенные в Российской Федерации	39
5.2. Защитные отношения для полезных сигналов цифрового наземного телевидения DVB-T2, испытывающих помехи от когнитивного оборудования	41
5.3. Защитные отношения для полезных сигналов аналогового наземного телевидения (K/SECAM), испытывающих помехи от когнитивного оборудования	49
5.4. Защитные отношения для полезных сигналов когнитивного оборудования, испытывающих помехи от сигнала цифрового наземного телевидения DVB-T2	52
6 Принципы использования систем когнитивного радио в приграничных районах с применением геолокационных баз данных.....	55
6.1 Создание национальной геолокационной базы данных	55
6.2 Согласование принципов и технических критериев использования радиочастотных каналов системами когнитивного радио в приграничных районах.....	56
6.3 Обеспечение равноправного доступа администраций связи к спектру	58
7. Проведение экспериментальных работ по практической оценке методов защиты НЦТВ от когнитивного радио	60
8. Список использованных документов	61
Приложение 1. Международный опыт использования устройств когнитивного радио	62
1. Опыт внедрения когнитивного радио в США	63
2. Опыт внедрения когнитивного радио в Сингапуре	78
3. Опыт внедрения когнитивного радио в Великобритании	81

В данном документе представляются материалы, которые могут быть использованы при разработке проекта Справочника по перспективам внедрения систем когнитивного радио в полосах УВЧ диапазона в странах участников РСС.

Преамбула

В Справочнике приводится описание использования систем когнитивного радио, способных автоматически подстраиваться под условия текущей радиоэлектронной обстановки в полосе 470 - 790 МГц.

В качестве технической реализации систем когнитивного радио рассмотрен подход на основе использования геолокационной базы данных. Необходимо отметить, что перспективы внедрения тех или иных подходов практической реализации систем когнитивного радио должны быть обоснованы и требуют дальнейшего изучения с учетом экономической эффективности предложенных технических решений.

1. Термины и определения

Следующие термины и определения используются в отчете.

Система когнитивного радио (СКР): радиосистема, использующая технологию, позволяющую этой системе получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы согласно полученным знаниям для достижения предопределенных целей; и учиться на основе полученных результатов. [1]

Радиоустройство с программируемыми параметрами (SDR): радиопередатчик и/или радиоприемник, использующий технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность, за исключением изменения рабочих параметров, используемых в ходе обычной предварительно определенной работы с предварительными установками радиоустройства, согласно той или иной спецификации или стандарту системы.

Когнитивное устройство: устройство, входящее в состав системы когнитивного радио, способное осуществлять динамический доступ к спектру для передачи и приема информации, работающее на условии не создавать помех и не требовать защиты от помех в отношении других служб радиосвязи с более высоким приоритетом.

Временно неиспользуемый/незанятый спектр: часть спектра в полосе радиочастот, которая распределена одной или несколькими службам радиосвязи на первичной или вторичной основе в Регламенте радиосвязи и которая может быть определена администрацией, как доступная для устройств с динамическим доступом к спектру в данный момент времени и в данной географической зоне при условии не создания помех и отсутствия требований по защите от помех в отношении других служб радиосвязи с более высоким приоритетом [на национальной основе]. (Из проекта Отчета МСЭ-RSM.[DYNAMICACCESS])

«Белое пятно» в ТВ спектре: часть спектра в полосе радиочастот, которая распределена радиовещательной службе и используется для телевизионного вещания и которая определяется администрацией как доступная для беспроводной связи в данный момент времени и в данной географической зоне при условии не создания помех и отсутствия требований по защите от помех в отношении других служб радиосвязи с более высоким приоритетом на национальной основе. [3]

Устройство, функционирующее в «белых пятнах» (устройство WSD): когнитивное устройство, предназначенное для работы в белых пятнах ТВ спектра.

Геолокационная база данных: совокупность данных о местоположении, технических характеристиках, идентификаторах радиоэлектронных средств (РЭС) защищаемых служб и РЭС систем когнитивного радио, регуляторной политике, а также о протоколах обмена информацией с когнитивными устройствами с динамическим доступом к спектру, которая используется в процессе определения разрешенных каналов для работы систем когнитивного радио по их запросам.

Когнитивные технологии (способности): технологии (способности), которые реализуют три основных свойства систем когнитивного радио:

получение знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии;

динамическое и автономное корректирование своих эксплуатационных параметров и протоколов, согласно полученным знаниям, для достижения предопределенных целей;

обучение на основе полученных результатов.

Геолокация: определение географического местоположения когнитивного устройства с динамическим доступом к спектру.

Спектральное зондирование (сенсинг): способность систем когнитивного радио самостоятельно анализировать окружающую электромагнитную обстановку.

Политика:

- а) набор правил, определяющих поведение системы.
- б) машинная интерпретация понятия политики, которое определено в а).

Примечание 1. Политика определяется регулятором, производителями либо операторами систем когнитивного радио.

Примечание 2. Машинная интерпретация понятия политики это аппаратная, программная или программно-аппаратная реализация алгоритма, который описывает процедуру исполнения набора правил, определяющих поведение системы.

Диапазон УВЧ: полоса радиочастот 470-862 МГц, т.е. IV и V диапазоны телевизионного вещания.

2. Общая информация о когнитивном радио

Всемирная конференция радиосвязи 2012 года определила, что системы когнитивного радио как совокупность технологий могут применяться в службах радиосвязи при условии их использования в соответствии с требованиями Регламента радиосвязи, и поручила продолжить дальнейшие изучения вопроса о внедрении и условиях использования систем когнитивного радио в службах радиосвязи.

Ассамблея радиосвязи 2012 года приняла Резолюцию МСЭ-R 58 [8], описывающую перечень проблемных вопросов, связанных с внедрением и использованием систем когнитивного радио, для последующего их исследования. Ответственным органом по этим исследованиям в рамках МСЭ-R радио является 1-я Исследовательская комиссия.

1-я Исследовательская комиссия МСЭ-R одобрила Отчет МСЭ-R SM.2152, описывающий системы когнитивного радио, в который также вошли определения «системы радиосвязи с программируемыми параметрами» (SDR) и «системы когнитивного радио» (CRS). Рассматриваются несколько подходов по внедрению систем когнитивного радио, в частности, на основе геолокационной базы данных и на основе спектрального зондирования (способности когнитивных систем самостоятельно анализировать окружающую электромагнитную обстановку). [7] Перспективы внедрения тех или иных подходов по практической реализации систем когнитивного радио должны быть обоснованы и требуют дальнейшего изучения с учетом экономической эффективности предлагаемых технических решений.

2.1 Геолокационная база данных

Алгоритм работы и управления геолокационной базы данных. Принцип работы когнитивной системы заключается в следующем: мобильное устройство посредством встроенной навигации определяет собственные координаты и передает их по служебному каналу ближайшей точке доступа или базовой станции сотовой связи. Далее оперативная информация (запрос) транслируется по действующей транспортной сети в вычислительный центр, где мгновенно обрабатывается, определяется радиоэлектронная обстановка района, вычисляются допустимые технические характеристики для работы РЭС подвижной связи в телевизионной полосе частот и передаются обратно в ответ на запрос базовой станции. Мобильное устройство на месте корректирует собственные технические характеристики, после чего начинает использовать ТВБП в интересах абонента. Вся работа системы выполняется в автоматическом режиме с применением т.н. геолокационной базы данных (GLDB).



Рисунок 2.1 Общая схема сети

Необходимые исходные данные. Для формирования базы данных для управления устройствами когнитивных систем необходимы следующие несколько блоков исходных данных, приведенных ниже.

Технические данные о РЭС, которые требуют защиты (РЭС, которые составляют эталонную ситуацию), включая:
 координаты расположения передающих средств,
 тип системы,
 рабочие полосы частот,
 режим работы,
 излучаемую мощность,
 высоту подвеса передающей антенны,
 и другие параметры, необходимые для расчета уровней полезного сигнала в различных географических точках.

Технические данные о когнитивных РЭС, которые предполагают осуществлять свою работу посредством базы данных (получать разрешение на работу в соответствии с определенными базой данных параметрами), включая:
 координаты расположения когнитивных РЭС (а также точность определения координат),
 тип системы (включая параметры определяющие тип и класс излучения),
 диапазон рабочих полос частот,
 требуемую ширину канала,
 режим работы,
 излучаемую мощность,

высоту подвеса передающей антенны.

Условия по обеспечению электромагнитной совместимости, на основе которых будут определяться возможные параметры для работы когнитивных РЭС.

Под этими условиями понимаются, прежде всего, технические условия и критерии, на основе которых рассчитывается электромагнитная совместимость между когнитивными РЭС и действующими РЭС гражданского назначения.

Для оценки ЭМС используются нормированные характеристики РЭС наземного вещания, соответствующие системе вещания и другим параметрам рассматриваемых частотных присвоений.

В базу данных заносятся технические параметры всех РЭС, которые требуют защиты (все РЭС, которые осуществляют свою деятельность на основе соответствующих разрешительных документов) в соответствии с требуемыми исходными данными.

Производится расчет уровней полезных сигналов в каждой географической точке (с некоторым шагом, например 100 метров).

Для каждого РЭС, составляющего эталонную ситуацию, определяется набор географических точек, в которых будет осуществляться его защита (подразумевается, что защита будет осуществляться в пределах зоны обслуживания РЭС).

По каждому типу когнитивных РЭС в БД заносятся технические условия, на основе которых определяется ЭМС (нормы частотно-территориального разнесения или защитные отношения)

Защита информации о технических характеристиках защищаемых РЭС. Такая информация необходима для определения доступных частотных каналов и может представлять собой набор технических параметров передатчиков (включая местоположение, высоту подвеса антенны, мощность излучения и др.) или набор параметров защищаемого приемника (включая территориальный район в котором может находиться приемник), либо комбинации этих двух наборов данных.

Задержки в обновлении базы данных. Задержка в обновлении базы данных это промежуток времени, в течение которого информация о новых или измененных параметрах защищаемого РЭС будет приниматься во внимание при определении доступных частотных каналов для устройств WSD. Если заявка на новое частотное присвоение для защищаемого РЭС осуществляется электронным способом через Интернет задержка может быть очень небольшой. Частотное присвоение может непосредственно записываться в базу данных, однако при этом существует вероятность того, что в базу данных будут вводиться не соответствующие действительности записи, что в конечном итоге приведет к блокированию работы WSD устройств.

Частота обновления базы данных. База данных о защищаемых РЭС должна периодически обновляться, чтобы обеспечивалась актуальность информации. Частота обновления базы данных зависит от информации о новых частотных присвоениях защищаемых РЭС. В зависимости от типов защищаемых РЭС частота обновления базы данных может быть высокой, так как могут происходить как изменения частотных назначений, так и появление новых защищаемых РЭС, особенно это относится к PMSE оборудованию, а также цифровым вещательным станциям, развертываемым при тестировании или проведении специальных мероприятий (спортивные, официальные и т.п.). В тоже время следует стремиться к уменьшению частоты обновления базы данных с тем, чтобы предотвращать случаи возможного блокирования доступа к базе данных в связи с частыми обновлениями.

Типы защищаемых служб, а значит и информация о частотных присвоениях для РЭС этих служб может изменяться от страны к стране. Соответственно необходимо предъявлять требования к сроку актуальности доступных частотных каналов, которые передаются от базы данных устройствам WSD. В течение этого срока устройства WSD могут использовать переданные им частотные каналы, и после данного периода устройства WSD должны обновить список каналов, путем нового запроса к базе данных.

Алгоритм обработки запросов к базе данных. В результате обработки запроса к базе данных должен быть сформирован список доступных частотных каналов и соответствующие максимально допустимые мощности излучения для устройств WSD.

Очевидно, что алгоритм обработки должен давать приемлемый результат иначе появляется риск непреднамеренных помех для защищаемых РЭС или риск чрезмерного ограничения доступных частотных каналов для работы WSD устройства.

Алгоритм обработки зависит от типа защищаемого РЭС, а также наличия сведений о зоне обслуживания такого РЭС. Следует принимать во внимание, что потенциальными объектами воздействия WSD устройств могут быть РЭС размещенные на территории сопредельного государства.

База данных также передает сведения WSD устройству в отношении максимально допустимой мощности, которая может использоваться в данной точке размещения устройства на конкретной радиочастоте. Алгоритм обработки запроса должен гарантировать, что устройство WSD в заданной точке пространства (и некотором районе пространства, определяемого ошибками определения местоположения) не будет создавать непреднамеренных помех защищаемым РЭС.

Алгоритм запроса должен учитывать, возможное размещение защищаемого приемного устройства, а также допустимый уровень помех для

этого устройства и ослабление сигнала устройства WSD при распространении от устройства WSD до точки размещения приемника.

При поступлении запроса в базу данных от когнитивного РЭС, проверяется соответствие типа данного когнитивного РЭС с типами РЭС занесенных в базу данных. И, в случае соответствия данного типа когнитивного РЭС в базе данных, на основе исходных данных запроса, полученного от когнитивного РЭС, используя условия обеспечения ЭМС, база данных формирует допустимые параметры для работы данного когнитивного РЭС, формирует ответ на запрос, сообщает когнитивному РЭС эти параметры и регистрирует данное когнитивное РЭС в базе данных.

Протокол обмена данными между устройством и базой данных. Следующая информация должна передаваться от устройства WSD в базу данных:

Местоположение (обязательная информация). Местоположение устройства WSD представляет собой географические координаты текущего местоположения устройства. При этом следует отметить, что зона местоположения зависит от точности определения координат устройством. Местоположение определяется с использованием спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС или GPS.

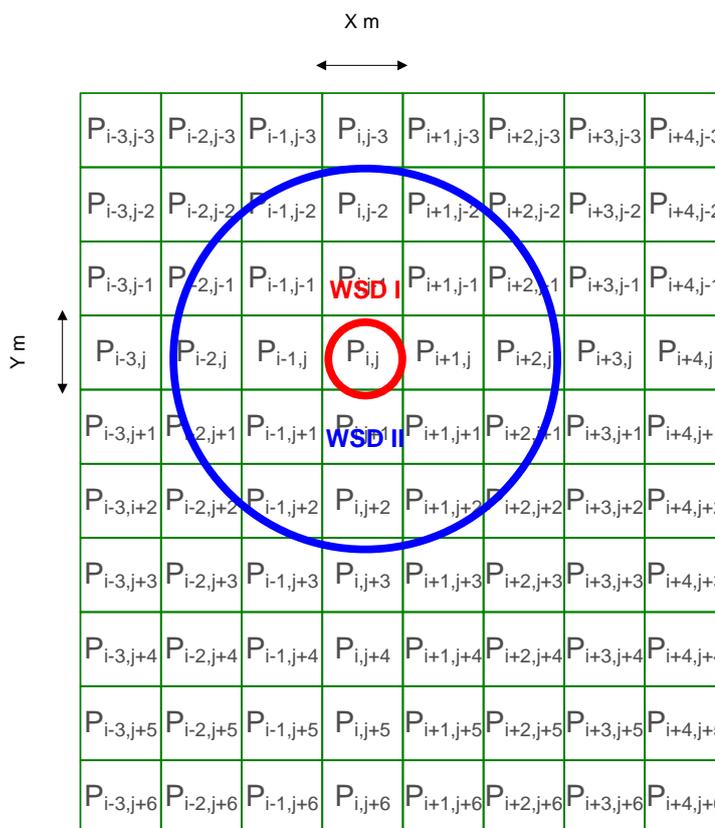


Рисунок. 2.2 Соотношение между территориальным элементом (пикселем) и точностью определения местоположения устройства WSD.

Точность определения местоположения (обязательная информация). Точность определения местоположения является абсолютной ошибкой определения местоположения устройства. Она определяется как круг некоторым радиусом вокруг точки размещения устройства. Кроме того, может включаться дополнительно информация о высоте размещения устройства. Точность определения местоположения должна приниматься во внимание алгоритмом отбора доступных частотных каналов для устройства. Устройства, которые обладают более высокой точностью определения местоположения, получают определенную выгоду перед остальными устройствами, так как увеличивается вероятность получения большего числа доступных частотных каналов. Алгоритм отбора доступных частотных каналов в базе данных должен строиться таким образом, чтобы максимально возможная точность определения местоположения давала определенный выигрыш.

Класс WSD устройства (обязательная информация). Предоставление информации о классе устройства необходимо для того, чтобы в базе данных могла быть идентифицирована соответствующая информация о технических характеристиках WSD устройства. Алгоритм работы базы данных в этом случае может учитывать соответствующие характеристики передатчика и антенны для определения доступных частот и максимально допустимой мощности излучения устройства. Различные классы устройств имеют различные технические характеристики (т.е. тип антенны, высота подвеса антенны, тип радиотехнологии и модуляции сигнала) и допустимые уровни ЭИИМ. Например, устройства, которые имеют хорошие внеполосные характеристики излучения, могут осуществлять передачи с более высокой мощностью в определенных точках размещения и на определенных радиочастотах. Определение классов устройств WSD и их технических характеристик является вопросом стандартизации.

Модель WSD устройства и его идентификационный номер (модель устройства – обязательная информация, идентификационный номер – необязательная информация). Данная информация будет чрезвычайно важной при формировании отчетов о возникновении помех, так как позволяет исключать устройства, которые не создавали непреднамеренных помех в конкретной ситуации. Кроме того идентификационный номер устройства позволяет осуществлять контроль определенного устройства, его поведения, а также разрешать проблемы несанкционированного использования.

Предполагаемый район работы устройства (необязательная информация). Устройство может иметь возможность получить информацию о доступных частотных каналах не только в точке размещения, но и в пределах некоторой зоны его работы. Например, устройство может обладать информацией о скорости своего перемещения и при медленном перемещении указать небольшой радиус района работы, а при большой скорости больший район. Район может также задаваться в виде многоугольника вместо точки с

радиусом зоны возможного размещения. Получив информацию о доступных частотных каналах в зоне, устройство может обслуживать и другие устройства WSD, находящиеся в данной зоне (режим работы WSD устройства master-slave).

3. Технические аспекты реализации систем когнитивного радио.

3.1 Анализ технических аспектов реализации обмена данными в базе данных

Для обеспечения взаимодействия между когнитивными устройствами и базой данных, должен быть реализован стандартизированный протокол. Этот протокол должен поддерживаться всеми устройствами когнитивного радио и базой данных. При разработке данного протокола целесообразно обеспечить максимально возможную (с учётом национальных требований) совместимость с международными стандартами [5].

В настоящее время при участии ряда крупных компаний ведётся разработка протокола взаимодействия между когнитивными РЭС и системой управления радиочастотным спектром РЭС когнитивной радиосвязи. На сегодняшний день существует рабочая версия документа «Протокол доступа к базам данных белых пятен» («Protocol to Access White Space (PAWS) Databases»). Эта спецификация описывает расширенный протокол, построенный на протоколах HTTP поверх криптографических протоколов, которые обеспечивают защищённую передачу данных между узлами в сети Интернет (Transport Layer Security - TLS), для того чтобы когнитивным устройством получить доступный спектр от геолокационной базы данных. База данных представляет собой объект, содержащий текущую информацию о доступном спектре в данном месте и в данное время, а также информацию об используемом спектре.

Важным аспектом является также вопрос взаимодействия базы данных и источников информации о защищаемых РЭС. Информация о защищаемых РЭС может поступать в различном виде. В зависимости от принципа реализации базы данных. Например, если тип базы данных соответствует «пиксельной базе данных», то информация будет предоставляться в виде «пиксельных» карт покрытия. При этом каждая карта покрытия будет соответствовать соответствующей радиослужбе.

Таким образом, будет формироваться многослойная структура, и в каждом пикселе будет набираться определенное число покрытий, которое будет равно количеству защищаемых радиослужб, покрывающих площадь пикселя. Тем не менее, информации только о числе занятых каналов будет недостаточно для обеспечения электромагнитной совместимости защищаемых РЭС и когнитивных устройств. Для этого в базе данных необходимо будет предоставлять информацию о защитных отношениях для конкретной

службы. Потребуется определение защитных отношений для каждой комбинации типа защищаемой службы и типа когнитивного РЭС. В связи с этим не потребуется перерасчет доступности каналов каждый раз при подключении когнитивного устройства, а достаточно будет лишь проверить, возможно ли выполнение защитных отношений в том или ином пикселе, исходя из технических характеристик когнитивного устройства, которое произвело запрос с целью включиться в работу в определенном месте и определенное время.

Согласно вышесказанному, от источника информации о защищаемых РЭС потребуется тип системы для определения защитных отношений и занятый диапазон частот для построения пиксельной карты покрытия. В том случае, если информация о РЭС конкретной радиослужбы не является конфиденциальной, то может потребоваться проведение расчетов и определение зоны обслуживания защищаемого РЭС. При этом в базу данных должны поступить технические характеристики защищаемых РЭС для определения защищаемой зоны обслуживания.

Международный опыт построения баз данных показал, что для соединения между базой данных и источником информации о защищаемых РЭС может быть использован протокол передачи данных прикладного уровня с поддержкой шифрования, например HTTPS. Подобное решение было использовано в рамках регуляторной политики FCC и Ofcom.

3.2 Определение идентификаторов набора правил использования спектра

Набор правил использования спектра представляет собой ряд технических требований, по которым производится техническая идентификация устройства и регулируется его работа в конкретной полосе частот в конкретной стране или местности. Необходимость применения различных наборов правил вызвана требованиями унификации программного обеспечения устройств, которые могут работать в разных географических районах, разных странах, под управлением разных регуляторов.

Чаще всего этот набор правил позволяет определить рабочую полосу устройства. Набор правил протокола спецификации PAWS включает:

- набор правил для идентификаторов;
- документ-спецификация;
- дополнительно запрошенные параметры.

Идентификатор набора правил - название наборов правил. Документ-спецификация это ссылка на документ, который определяет параметр, предпочтительно включающий адрес, который может использоваться, чтобы получить копию документа. Дополнительно запрашиваемые параметры - перечень дополнительно запрашиваемых параметров, связанных с набором правил. Два типа дополнительно запрашиваемых параметров:

- добавление новых параметров к существующей структуре и модификации необходимых и дополнительных требования для существующих параметров;
- внесение изменений в значения существующих элементов.

При добавлении новых параметров или изменении требований к существующим параметрам, регистрация должна включать в себя таблицу для каждой затронутой структуры. Каждая таблица должна включать в себя название структуры в заголовке и следующие столбцы: название параметров, которые были добавлены или изменены, дополнительные примечания, которые могут быть полезны разработчикам.

Для изменения требований у существующих параметров, регистрация должна включать таблицу для каждой измененной структуры, в которой перечислены все изменения. Каждая таблица должна включать название структуры в заголовке и следующие колонки: название параметров и дополнительные требования.

3.3 Определение дополнительных параметров

Когда добавляются дополнительные параметры для поддержания набора правил, параметры должны совместно использовать общий префикс, который отражает набор правил идентификации, которые в свою очередь, обеспечивают механизм взаимодействия с базой данных для предоставления информации о применяемом наборе правил головному устройству.

Префикс может быть опущен, если этот параметр имеет общее применение. Аналогично, когда параметры не связаны с набором правил, то должны отсутствовать префиксы у существующих параметров набора правил (например, "FCC", "ETSI") или инициалы организаций, которые еще не зарегистрировались. При регистрации параметров будут включены их названия, используемое местоположение, документы-спецификации.

Коды ошибок протокола PAWS включают в себя название кода, его описание и дополнительные параметры. Дополнительные коды ошибок могут быть зарегистрированы, чтобы расширить перечисленный в базовой спецификации набор ошибок.

Основные цели протокола PAWS:

1. Стандартизация механизмов определения свободного спектра.
2. Стандартизация метода связи с базой данных.
3. Стандартизация формата данных.
4. Обеспечение гарантии того, что механизм определения доступного радиочастотного спектра, метод доступа к базе данных и форматы запросов/ответов имеют необходимые уровни безопасности.

Типовая последовательность операций протокола PAWS:

1. Головное устройство (Master Device) получает адрес базы данных, соответствующей его расположению, на который необходимо отправлять последующие сообщения.

2. Далее головное устройство устанавливает HTTPS сессию с геолокационной базой данных.
3. Головное устройство отправляет сообщение об инициализации в базе данных для возможного обмена информацией.
4. Если база данных получает сообщение об инициализации устройства, она высылает сообщение с ответом.
5. База данных может потребовать регистрации устройства до предоставления услуг.
6. Головное устройство отправляет сообщение с запросом о наличии доступного спектра в базу данных. Сообщение может быть от имени подчиненного устройства (Slave Device), которое сделало запрос головному устройству.
7. Если головное устройство делает запрос от имени подчиненного устройства, то оно вместе с базой данных должно проверить, что подчиненное устройство работает.
8. База данных отвечает сообщением с информацией о наличии свободного спектра
9. Головное устройство может отправить в базу данных сообщение – уведомление об используемом спектре.
10. Если база данных получает сообщение-уведомление об используемом радиочастотном спектре, то она отправляет головному когнитивному устройству подтверждающее сообщение. Поскольку данное сообщение сугубо информационное, устройству не требуется отвечать на него.

Для устройств, которые поддерживают несколько наборов правил и работает с несколькими геолокационными базами данных, протокол PAWS предусматривает следующую последовательность действий для каждого запроса от такого головного устройства:

1. Головное устройство указывает в запросе свое местоположение и дополнительно включает идентификаторы всех наборов правил, которые он поддерживает и любые другие параметры, которые могут потребоваться.
2. База данных использует данные о местоположении устройства, а также список набора правил для предоставления ответа.
3. Если необходимые параметры отсутствуют в запросе, база данных отправляет сообщение с ошибкой и списком недостающих параметров.
4. Головное устройство делает повторный запрос, добавив значения недостающих параметров.
5. База данных отвечает на запрос, включив идентификатор применяемого набора правил.
6. Головное устройство использует набор правил, чтобы расшифровать ответ от базы данных.

4. Положение дел по внедрению когнитивного радио в странах участников РСС

4.1 Положение дел по внедрению когнитивного радио в Российской Федерации

Решением ГКРЧ от 16 марта 2012 г. № 12-14-08 результаты научно-исследовательской работы «Оценка технической возможности и экономической целесообразности внедрения когнитивных систем радиосвязи в интересах эффективного использования радиочастотного спектра диапазона частот 470-862 МГц» были приняты к сведению.

В интересах повышения эффективности использования радиочастотного спектра было принято решение о выделении полосы радиочастот 470-686 МГц для создания опытной сети когнитивной системы широкополосного беспроводного доступа на территории Российской Федерации.

На первом этапе был проведен анализ возможных мест размещения станций когнитивной системы, анализ основных характеристик и функциональных возможностей оборудования когнитивной системы, лабораторные испытания образцов оборудования когнитивной системы, организована работа опытной зоны когнитивной системы широкополосного беспроводного доступа.

В ходе проведения стендовых испытаний проводилась проверка основных режимов работы оборудования, а также измерение основных технических характеристик и защитных отношений при помехах от устройств когнитивной системы приему программ ТВ вещания.

В ходе работ опытной зоны по внедрению когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа в Российской Федерации в полосе радиочастот 470-686 МГц были уточнены определенные по результатам стендовых испытаний условия обеспечения ЭМС РЭС когнитивного радио с РЭС наземного цифрового и аналогового ТВ вещания при различных сценариях помех. В частности, была показана необходимость обеспечения пространственного разнеса приемно-передающих антенн РЭС когнитивного радио и приемных антенн ТВ вещания в широком диапазоне частот.

По результатам стендовых испытаний и работ на опытной сети когнитивного радио определены условия совместного использования РЭС когнитивного радио в полосе частот 470-790 МГц и РЭС наземного ТВ вещания. Определен перечень основных технических данных для формирования базы данных для управления устройствами когнитивных систем, разработан алгоритм функционирования базы данных.

Результаты исследований условий ЭМС показали следующее.

Для обеспечения электромагнитной совместимости РЭС когнитивного радио и РЭС наземного ТВ вещания необходимо пространственное разнесение передающих антенн РЭС когнитивного радио и приемных антенн ТВ вещания в диапазоне от 5 до 300 м, в зависимости от технических

характеристик РЭС когнитивного радио. Выполнение этого условия может быть обеспечено для базовых станций РЭС когнитивного радио (имеющих фиксированные места установки), но не может быть обеспечено для оконечных/абонентских станций, если установку проводит пользователь по своему усмотрению. Наиболее важными проблемами для автоматизации контроля местоположения оконечных/абонентских станций являются недостаточная точность определения местоположения при помощи спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС и их аналогов, отсутствие сведений о местах установки приемных антенн ТВ вещания. По этой причине алгоритмом работы базы данных не предполагается определение координат абонентских станций РЭС когнитивного радио. Для обеспечения ЭМС при эксплуатации абонентских станций РЭС когнитивного радио, имеющих функцию передачи, необходимо разработать порядок установки передающих антенн абонентских станций РЭС когнитивного радио, и обеспечить его выполнение, в дополнение к использованию БД для базовых станций. Эксплуатация мобильных абонентских станций РЭС когнитивного радио в диапазоне 470-686 МГц не предполагается.

РЭС наземного цифрового ТВ вещания продемонстрировали большую устойчивость (например, защитное отношение во втором соседнем канале для ЦТВ -45 дБ, для аналогового ТВ -16 дБ) к воздействию помех от РЭС когнитивного радио, РЭС наземного аналогового ТВ вещания имеют более низкие показатели защищенности (эксперты отмечали заметное ухудшение качества изображения). Прием сигналов цифрового ТВ при небольшом уровне помех остается качественным, однако при дальнейшем увеличении уровня помех по достижении определенного порога (при нарушении условий ЭМС) происходит полный срыв демодуляции цифрового сигнала, выражающийся в отсутствии изображения и звука.

Обнаружена зависимость величины защитного отношения, необходимого для обеспечения ЭМС от режима работы РЭС когнитивного радио, в частности – соотношения времени приема и передачи при использовании временного дуплекса (соотношения 50% прием 50% передача, 90% прием 10% передача и т.д.). При определении условий ЭМС необходимо учитывать возможность изменения режимов работы РЭС когнитивного радио в зависимости от загрузки канала, условий приема, помеховой ситуации (при определении условий ЭМС целесообразно исходить из худшего сценария).

При анализе возможных мест установки РЭС когнитивного радио ограничивающим фактором для некоторых типов РЭС, использующих прием и передачу, может являться эффект перегрузки входных цепей приемника РЭС когнитивной радиосвязи сигналами мощных станций ТВ и звукового вещания, подвижной связи и других, работающих далеко за пределами используемого радиочастотного канала (зеркальные каналы). Этот эффект связан со сложностью изготовления и использования частотно-избирательных фильтров помех для систем когнитивного радио, поскольку рабочие частоты когнитивных РЭС не фиксированы и могут изменяться в

пределах диапазона УВЧ. Данная проблема требует проведения дальнейших исследований.

Сложность изготовления перестраиваемых фильтров для РЭС когнитивного радио может также приводить к ухудшению ЭМС в соседних РЧ каналах, что будет актуально в случае использования сигналов с полосой частот шириной более 7 МГц в стандартном РЧ канале шириной 8 МГц. Для рассмотренного в рамках работ на опытной сети РЭС когнитивного радио (ширина полосы частот сигнала 6 МГц) эта проблема не проявлялась.

Работы по созданию опытной зоны когнитивной системы широкополосного беспроводного доступа были выполнены. Проведены исследования для определения условий совместного использования РЭС опытной сети в полосе радиочастот 470-686 МГц и РЭС наземного телевизионного вещания. Определён перечень основных технических данных для формирования базы данных, в соответствии с которыми осуществляется управление устройствами опытной сети, разработан алгоритм функционирования базы данных. Использовались РЭС отечественного производства. В ходе работ по результатам стендовых испытаний были уточнены условия обеспечения электромагнитной совместимости РЭС опытной сети с РЭС наземного цифрового и аналогового телевизионного вещания при различных сценариях воздействия радиопомех.

Учитывая, что для внедрения когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа в Российской Федерации в полосе радиочастот 470-686 МГц требуется организация опытной эксплуатации РЭС когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа в субъектах Российской Федерации, а также разработка по результатам опытной эксплуатации когнитивных сетей организационных и нормативно-правовых требований к их функционированию ГКРЧ решением от 03 сентября 2013 г. № 13-20-06 рекомендовала продолжить выполнение научно-исследовательских работ, связанных с определением условий и порядка применения когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа на территории Российской Федерации, обобщить результаты проведённых работ и представить в ГКРЧ предложения по порядку и условиям применения РЭС когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа на территории Российской Федерации с учётом обеспечения электромагнитной совместимости с РЭС различного назначения, а также предложения по изменению нормативной правовой базы Российской Федерации, обеспечивающей внедрение когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа на территории Российской Федерации.

В настоящее время, в Российской Федерации продолжают работы, связанные с определением различных аспектов внедрения систем КР. Результатами указанных работ станет разработка предложений по порядку и условиям применения РЭС когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа на территории Российской Федерации с учётом

обеспечения электромагнитной совместимости с РЭС различного назначения, а также предложений по изменению нормативной правовой базы Российской Федерации, обеспечивающей внедрение когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа на территории Российской Федерации.

4.2. Вопросы использования когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа в полосе частот 470-686 МГц

Типовые сценарии применения когнитивных устройств в настоящее время еще окончательно не сформированы. В международных организациях, занимающихся стандартизацией, продолжаются дискуссии в отношении возможностей применения когнитивных устройств в различных сферах деятельности. Наиболее очевидным применением для РЭС, работающих по принципу когнитивной радиосвязи является оказание услуг широкополосного доступа [2]. Для решения данной задачи РЭС КР могут использоваться в качестве различных элементов сети ШПД [6]:

- магистральных линий связи между населенными пунктами;
- линий связи между головными (базовыми) станциями и абонентскими станциями;
- организации оконечного интерфейса для подключения абонентских устройств;
- комбинации приведенных выше вариантов применения.

С учетом малых объемов выпуска РЭС КР и отсутствия гармонизации их использования на мировом уровне не представляется целесообразным ожидать, что интерфейсы систем связи, применяемых по принципам когнитивного радио, будут реализованы в абонентских устройствах в обозримом будущем. Исключением станут сети подвижной связи стандартов LTE, но только в том случае, если в руководящие документы 3GPP будут включены положения, обеспечивающие достаточную гибкость для использования системы LTE в сетях связи, работающих по принципу когнитивного радио. Однако даже в этом случае массовое распространение абонентского оборудования с поддержкой соответствующих функций произойдет не ранее чем через 10-15 лет.

Поэтому в качестве основных вариантов применения предлагается рассматривать варианты, предполагающие использование абонентских станций КР в качестве точек доступа, работающих в соответствии со стандартами, поддерживаемыми в абонентских устройствах (такими как Wi-Fi), либо в качестве промежуточных станций для организации многопролетных линий радиорелейной связи между точками входа в проводные сети ШПД и удаленными населенными пунктами или объектами инфраструктуры, не имеющих подключения к проводным широкополосным

сетям связи. С этой точки зрения необходимо рассмотреть возможные типовые схемы организации сетей радиосвязи, использующих РЭС КР, для обеспечения указанных задач.

Соединение точка - точка

Использование соединения точка-точка подразумевает организацию радиолинии между сетью поставщика услуг ШПД и локальными точками доступа в целевом населенном пункте. При этом когнитивные РЭС используются только для создания транспортного канала радиосвязи между коммутатором провайдера и локальными коммутаторами, которые установлены в населенном пункте.

При этом подразумевается, что для обеспечения доступа к услугам ШПД в относительной близости от целевого населенного пункта должен располагаться другой населенный пункт, в котором есть доступ к сети поставщика услуг ШПД. Радиоканал организуется на основе РЛ, которые состоят из РРС, работающих по принципу когнитивного радио. В связи с этим, возможно построение достаточно длинной цепочки когнитивных радиорелейных станций (РРС), например, для случая расположения нескольких населенных пунктов вдоль реки.

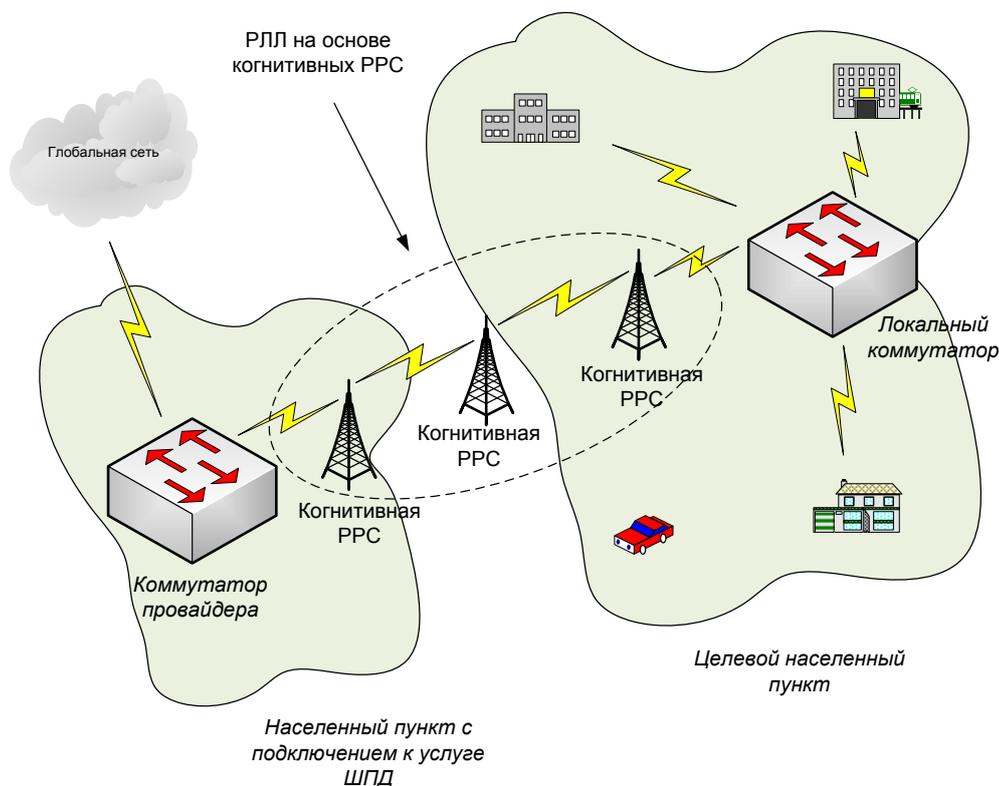


Рисунок 4.1 Вариант ШПД с использованием когнитивных РРС

Такая топология позволит населению получать услуги широкополосного доступа. При этом транспортная сеть на основе

когнитивных РЭС будет обеспечивать доставку трафика до целевого населенного пункта.

С точки зрения имеющегося международного опыта, подобный тип организации транспортного канала не применялся, т.к. в большинстве случаев к транспортному каналу применяются довольно высокие требования по надежности соединения. В связи с тем, что нельзя гарантировать свободу каналов в телевещательном диапазоне, то разумно применять подобный вариант использования когнитивных РЭС, только когда возможен доступ к нескольким ТВк одновременно, для наличия возможности экстренного переключения на резервный ТВк. Международный опыт так же говорит о том, что возможно создание дополнительных услуг для операторов связанных с приоритетным предоставлением свободных ТВк. В Сингапуре предусмотрена подобная услуга. В случае если все ТВк заняты, то всегда существует два свободных ТВк, которые предоставляются оператору сети когнитивного радио в приоритетном порядке.

Соединение точка - многоточка

Соединение точка – многоточка позволяет организовать доступ к интернету с помощью беспроводного соединения с базовой станцией, работающей по принципу когнитивного радио. При этом зона обслуживания базовой станции, работающей по модифицированному для использования в телевещательной полосе стандарту радиосвязи (модифицированный Wi-Fi или Wi-MAX), может достигать 10 км в радиусе и обеспечивать приемлемое качество связи. При использовании направленной антенны на передающей стороне дальность радиосвязи может быть существенно увеличена. Схема применения подобного варианта ШПД представлена на рис. 4.2.

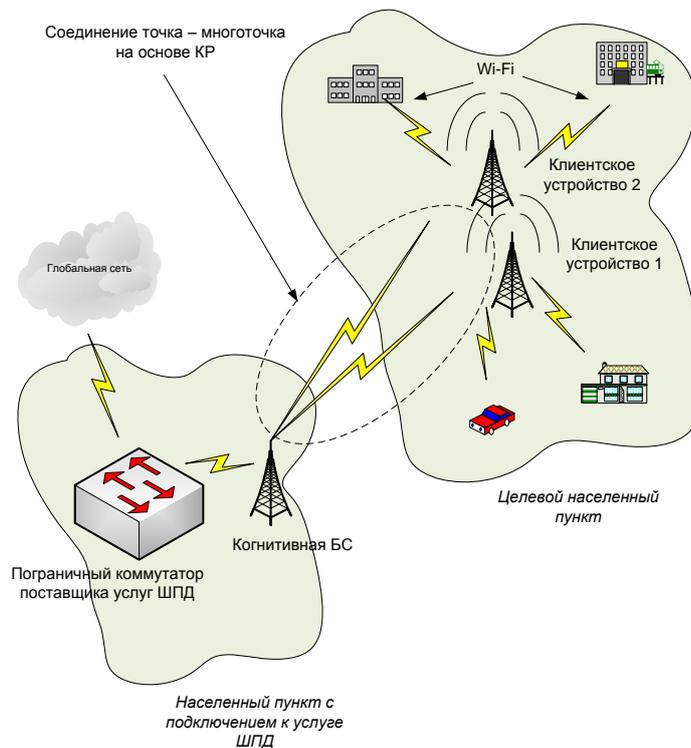


Рисунок 4.2 Вариант ШПД соединение точка – многоточка, работающий по принципу когнитивного радио

Подобный тип соединения подразумевает наличие транспортного канала связи между когнитивной БС и клиентскими устройствами в целевом населенном пункте. Реализация доступа к услуге ШПД осуществляется с помощью радиоканала между пользователем, например по стандарту 802.11, и клиентским устройством когнитивного радио. При этом использование радиочастотного спектра телеведущей службы позволит уменьшить капитальные расходы путем исключения затрат на приобретение или аренду радиочастотного спектра для функционирования БС. Так же радиочастотный диапазон, в котором работает телеведущая служба, более благоприятен для распространения радиосигнала по сравнению с радиодиапазоном, который обычно используют операторы мобильной связи, предоставляющие услуги ШПД.

Соединение точка-многоточка это наиболее распространенный вариант реализации услуги ШПД с помощью когнитивного радио. Подобный тип соединения применялся практически во всех пилотных проектах реализованных в странах ЕС, США и странах Западной Африки. При этом регуляторные правила и регулирующие документы не ограничивают возможности применения вариантов ШПД. Правила подразумевают широкий спектр технологий и вариантов реализации систем когнитивного радио. Так же во всех подробно изученных нормативных документах (FCC (США), OFCOM (Великобритания), IDA (Сингапур)) принят принцип технологической нейтральности. Таким образом, все регуляторные правила – универсальные.

Учитывая международный опыт внедрения перспективных радиотехнологий и специфику условий использования частотного ресурса в РФ, можно выделить следующие основные сценарии использования систем когнитивного радио для организации ШПД [4]:

1. беспроводный ШПД для мобильных абонентских терминалов на базе сетей LTE с использованием линии вниз в полосе частот 470-686 МГц;
2. беспроводный ШПД для мобильных абонентских терминалов на базе сетей LTE с использованием дуплексной линии связи в полосе частот 470-686 МГц;
3. беспроводный ШПД для фиксированных абонентских терминалов в пределах населенного пункта на базе LTE, Wi-MAX, IEEE 802.22 или других стандартов;
4. организация линий связи между населенными пунктами для обеспечения широкополосного доступа в населенных пунктах, не имеющих широкополосного подключения посредством других систем связи, с использованием IEEE 802.22 или других стандартов.

Беспроводный ШПД для мобильных абонентских терминалов с использованием линии вниз в полосе частот 470-686 МГц

Данный сценарий хорошо подходит для обеспечения широкополосного доступа в районах с малой плотностью населения по средствам систем, работающих по принципу когнитивного радио, при наличии альтернативных каналов связи, которые можно использовать для организации линии вверх. При этом для организации линии вверх может быть использован канал радиосвязи с гораздо меньшей пропускной способностью, т.к. при подключении в сеть Интернет плотность трафика на линии вверх значительно ниже, чем на линии вниз.

В малонаселенных районах проводной широкополосный доступ сложно обеспечить, а использование полос частот телевизионного вещания сможет обеспечить возможность обеспечения дополнительной пропускной способности в сетях операторов подвижной связи.

Можно выделить две группы конечных пользователей в зависимости от мобильности устройств:

- применение для малой мобильности: например, пользователь может ходить с этим устройством;
- применение для высокой мобильности: например, пользователь также может использовать устройство во время поездки в машине или на поезде.

Такое разделение сделано с учетом того, что в зависимости от подвижности пользователей могут отличаться условия для обнаружения

первичных и вторичных пользователей диапазона, а также географического местоположения.

Данный перспективный сценарий внедрения когнитивных технологий в режиме FDD подразумевает использование полосы частот телевещательного диапазона 470 – 790 МГц только для организации линии вниз.

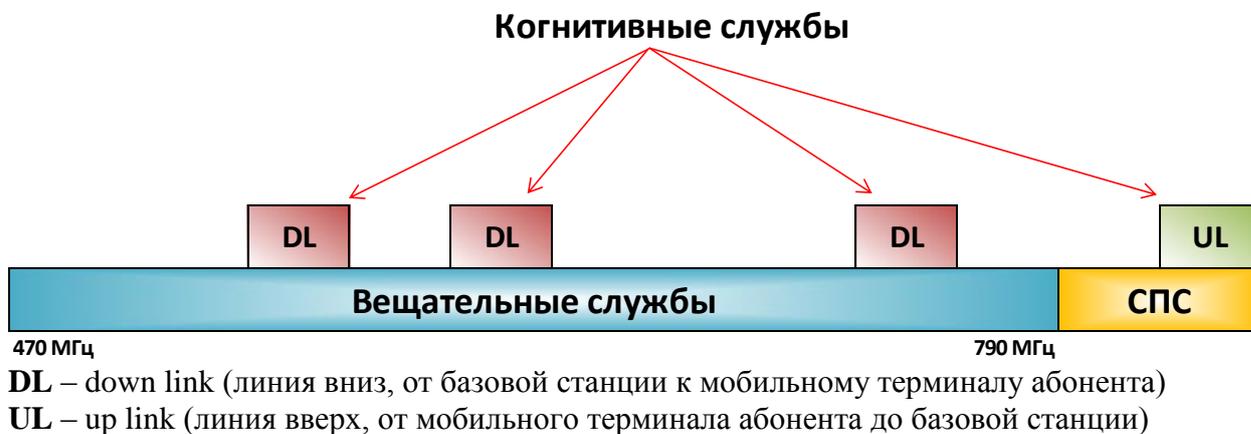


Рисунок 4.3 - Использование вещательного диапазона когнитивными системами
(возможно только для линии вниз)

Изображенный на рис. 4.3 вариант использования свободного частотного ресурса телевещательного диапазона является возможностью для уже существующих операторов связи ШПД расширить возможности своей сети, увеличив при этом пропускную способность канала на линии вниз.

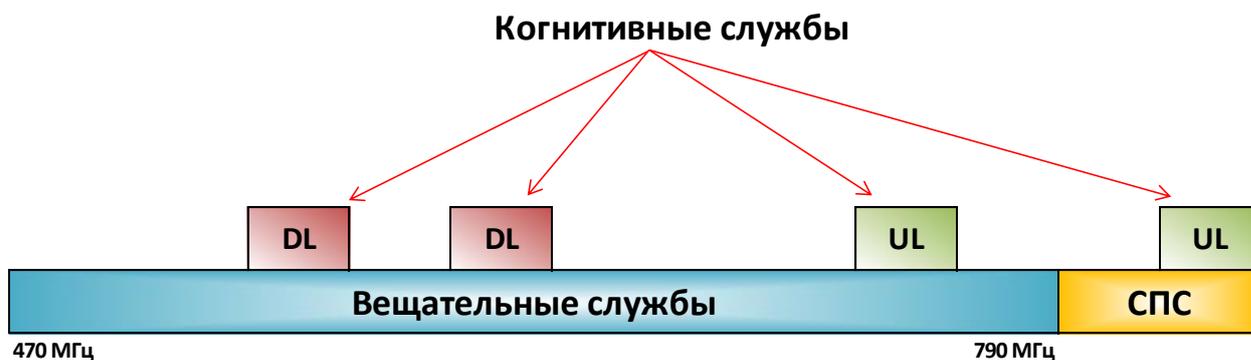
Ввиду ограниченной мощности передачи на стороне БС в случае использования принципа когнитивного радио, при определенном расстоянии разнесения от зон жилой застройки не создают помех телевизионному приему при их использовании в соседних радиочастотных каналах. Отсутствие линии вверх в полосах ТВ вещания также существенно снижает ограничения по условиям обеспечения ЭМС с РЭС ТВ вещания. В результате для маломощных передатчиков имеется достаточный объем свободного спектра для организации широкополосных линий связи на короткие и средние расстояния в среднепересеченной сельской местности. В тоже время в городских условиях, учитывая высокую степень загруженности диапазона 470 – 790 МГц, свободного спектра недостаточно для создания широкополосных сетей связи.

В силу сложности организации в настоящее время такой вариант использования все еще представляется достаточно экзотическим. Причина состоит в том, что в районах с низкой плотностью населения основной проблемой для развития сетей подвижной связи является не недостаток частотного ресурса, а дефицит базовых станций с поддержкой современных стандартов связи и ограниченная пропускная способность опорных каналов связи, к которым подключаются базовые станции. В таких условиях

использование дополнительной линии вниз в полосе частот 470-686 МГц невозможно без установки современной БС с поддержкой необходимой функциональности, наличия у населения современных абонентских терминалов с поддержкой данной опции (в сельских районах маловероятно), а также модернизации опорной сети связи (что является дорогостоящим мероприятием). Кроме того, после установки современной БС использование дополнительной линии вниз будет иметь смысл не на всей сети БС, а только в отдельных случаях. Важно учитывать, что возможности по использованию данного варианта будут ограничены необходимостью отнесения базовых станций от границ зон жилой застройки на несколько сотен метров для исключения помех приему программ ТВ вещания в соседних и множественных соседних каналах. Это является проблематичным, поскольку большинство существующих объектов подвижной связи располагается внутри населенных пунктов или на их границах.

Беспроводный ШПД для мобильных абонентских терминалов с использованием дуплексной линии связи в полосе частот 470-686 МГц.

Альтернативным вариантом организации ШПД является использование полос радиочастот ТВ вещания для полноценной дуплексной линии связи, включающей как линию вниз, так и линию вверх. При использовании линии вверх в соседнем или разнесенном диапазоне частот должен быть обеспечен допустимый частотный разнос между DL и UL. Если центральная частота радиоканала для линии вверх превосходит центральную частоту радиоканала для линии вниз в разы, то при этом усложняется система фильтров когнитивных устройств. Это приводит к увеличению стоимости самого устройства, а также его габаритов, что особенно критично для пользовательских мобильных терминалов. Поэтому при назначении доступных радиоканалов в полосах частот различных радиослужб требуется учитывать как минимальный, так и максимальный частотный разнос между линией вверх и линией вниз для согласованной работы БС и пользовательского терминала.



DL – down link (линия вниз, от базовой станции к мобильному терминалу абонента)
UL – up link (линия вверх, от мобильного терминала абонента до базовой станции)

Рисунок 4.4 - Использование вещательного диапазона когнитивными системами возможно как для линии вниз, так и для линии вверх

На рис. 4.4 отображен сценарий использования телевещательного диапазона, при котором линия вниз и линия вверх когнитивной системы ШПД могут быть полностью размещены в полосе частот 470 – 790 МГц. Такой вариант возможен только в районах с низкой плотностью РЭС, т.е. на территориях достаточно удаленных от крупных населенных пунктов. При этом необходимо обеспечить минимальный частотный разнос между линиями вверх и вниз для обеспечения электромагнитной совместимости БС и абонентского устройства. Основными преимуществами режима FDD является более высокая скорость передачи данных и отсутствие жестких требований к синхронизации сети.

В то время как традиционный недостаток систем TDD – именно повышенные требования к синхронизации. Возможность увеличения уровня помех при переключении между прямым и обратным каналами, особенно в условиях перегрузки, может быть другим недостатком TDD систем. Для того чтобы этого не допустить, полоса частот соседней БС (на которую оказывается влияние) может быть заранее задана отличной от полосы частот БС, в которой может возникнуть перегрузка.

В настоящее время внедрение когнитивных технологий по описанному выше сценарию является крайне затруднительным. Во многих регионах РФ вещают как аналоговые, так и цифровые РЭС, иногда и дублируя друг друга. Поэтому обеспечить минимальный частотный разнос между линией вниз и линией вверх возможно только на отдаленных территориях, где в радиовещательном спектре заняты всего несколько радиоканалов. После завершения переходного периода и отключения аналогового вещания возможность внедрения когнитивных технологий по данному сценарию станет возможной, но во многих случаях - только вне населенных пунктов, в которых осуществляется прием программ цифрового ТВ вещания.

Использование диапазона частот телевещательной службы на безлицензионной основе позволит операторам использовать дополнительные частотные ресурсы для предоставления услуг. Для операторов, которые уже

являются полноправными участниками телекоммуникационного рынка, расширение диапазона частот даст возможность увеличить пропускную способность существующей сети и улучшить качество передаваемого контента (например, для просмотра аудиовизуального контента в режиме реального времени). В то же время стандартизация использования полосы частот 470-686 МГц в системах LTE находится на стадии проработки и в предварительных версиях получила ряд существенных ограничений, которые могут потребовать применения выделенных частотных планов, по аналогии с обычными системами LTE, либо ограничиться только использованием для дополнительной линии вниз.

Беспроводной ШПД для фиксированных абонентских терминалов

Для данного сценария беспроводный доступ предоставляется от базовой станции к фиксированным устройствам (например, установленная на здании точка доступа). Такие устройства могут поддерживать более высокие мощности передачи, чем мобильные и портативные категории устройств, и располагаются главным образом в сельских районах для расширения зоны действия сети ШПД. В зоне действия точки доступа могут использоваться другие категории пользовательских устройств. Например, портативные и мобильные терминалы могут взаимодействовать с фиксированной точкой доступа для получения доступа к услугам сети Интернет и другому контенту. Предполагается, что положение базовых станций и точек доступа будет фиксировано. Чтобы обеспечить эффективную область обслуживания на менее плотно населенных территориях такие базовые станции могут использовать более высокую мощность сигнала и секторные антенны на большей высоте. Приемопередающие антенны абонентских станций располагаются на высоте около 10 м. Являясь узконаправленными, они обеспечивают большой коэффициент усиления в азимуте максимального излучения. Тем самым достигается гораздо большая зона обслуживания когнитивной сети, чем для случая беспроводного ШПД для мобильных абонентских терминалов. Однако, недостатком такого варианта, безусловно, является отсутствие мобильности у пользователей. Это можно частично компенсировать установкой беспроводной точки доступа, например по технологии Wi-Fi, в здании или на небольшом антенно-мачтовом сооружении в центре компактного поселения или досугового центра. Пример такого сценария изображен на рис. 4.5.

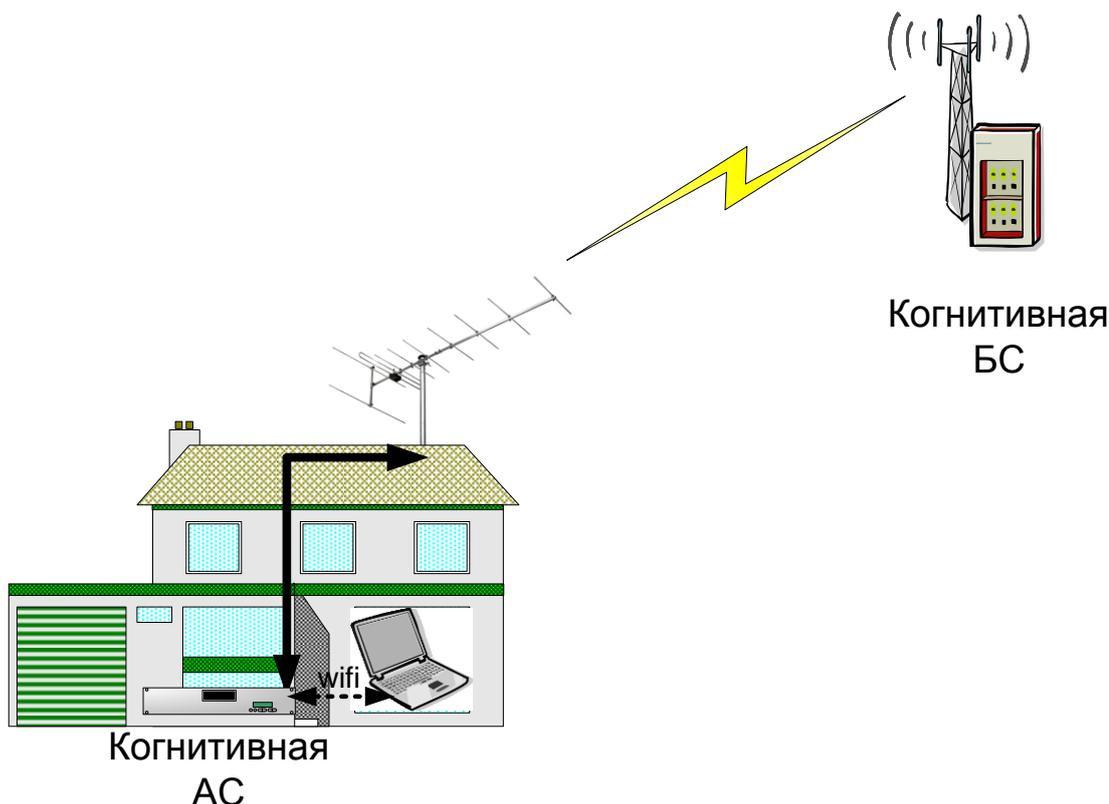


Рисунок 4.5 - Беспроводной доступ к системам, работающим по принципу когнитивного радио, на среднем и большом расстоянии; мобильность АС отсутствует

От стационарных устройств потребуется определить их географическое местонахождение посредством встроенной функции геолокации или от профессионального монтажника, иметь доступ и регистрацию в системе базы данных, которая содержит записи о защищенных службах, и получать обратно либо перечень доступных каналов в точке их расположения, либо информацию об используемых в их районе радиоканалах, из которых они могут определить перечень доступных частот. Кроме того, стационарным устройствам необходимо будет работать со смонтированными снаружи специальными антеннами и использовать анализатор спектра, чтобы выявить сигналы любой другой защищаемой службы, которые могут присутствовать в точке их расположения, но не появляться в базе данных.

Использование фиксированных устройств для организации ШПД по принципу когнитивного радио также может осуществляться по двум сценариям. Свободные радиоканалы вещательного диапазона будут распределяться когнитивным системам только для линии вниз или как для линии вниз, так и для линии вверх в зависимости от загрузки спектра в конкретном регионе.

Использование эфирных каналов связи в отдаленных и труднодоступных регионах РФ является экономически обоснованным

вариантом доставки услуг широкополосного доступа. Намного более затратным мероприятием окажется прокладка волоконно-оптической линии связи в такие районы. Организация ШПД посредством когнитивных технологий гораздо быстрее обеспечит сельское население новыми услугами связи. Учитывая наличие свободного частотного ресурса на отдаленных территориях, возможна организация высокой пропускной способности для обеспечения IP трафика путем объединения нескольких свободных радиоканалов.

Межпоселковая линия радиосвязи топологии РРЛ или система связи точка-многоточка

Типовым сценарием внедрения системы межпоселковой радиосвязи является размещение головной станции в населенном пункте, имеющем фиксированное широкополосное подключение к интернет, а дочерних устройств – в удаленном населенном пункте. Поскольку азимутальное отклонение удаленных устройств по отношению друг к другу будет относительно небольшим, и на головной станции, и на абонентских станциях возможно использование остронаправленных антенн, которые в данном частотном диапазоне все же имеют достаточно большую ширину максимума излучения и не требуют сверхточной настройки.

Интересным вариантом для реализации систем, работающих по принципу когнитивного радио, является организация радиорелейной линии связи или линии связи точка-многоточка между отдельными сельскими населенными пунктами или территориями с использованием остронаправленных антенн диапазона УВЧ как на приемной стороне, так и на передаче (рис. 4.6). За счет большой удаленности населенного пункта от места установки БС КР, угловое расстояние между отдельными абонентами для базовой станции будет небольшим, что дает возможность использовать на головной станции остронаправленную антенну с большим коэффициентом усиления даже в конфигурации точка-многоточка. Поскольку сети межпоселковой радиосвязи точка-многоточка не соответствуют топологии точка-точка, характерной для РРЛ, для них целесообразно применять более общее понятие «системы направленной радиосвязи».

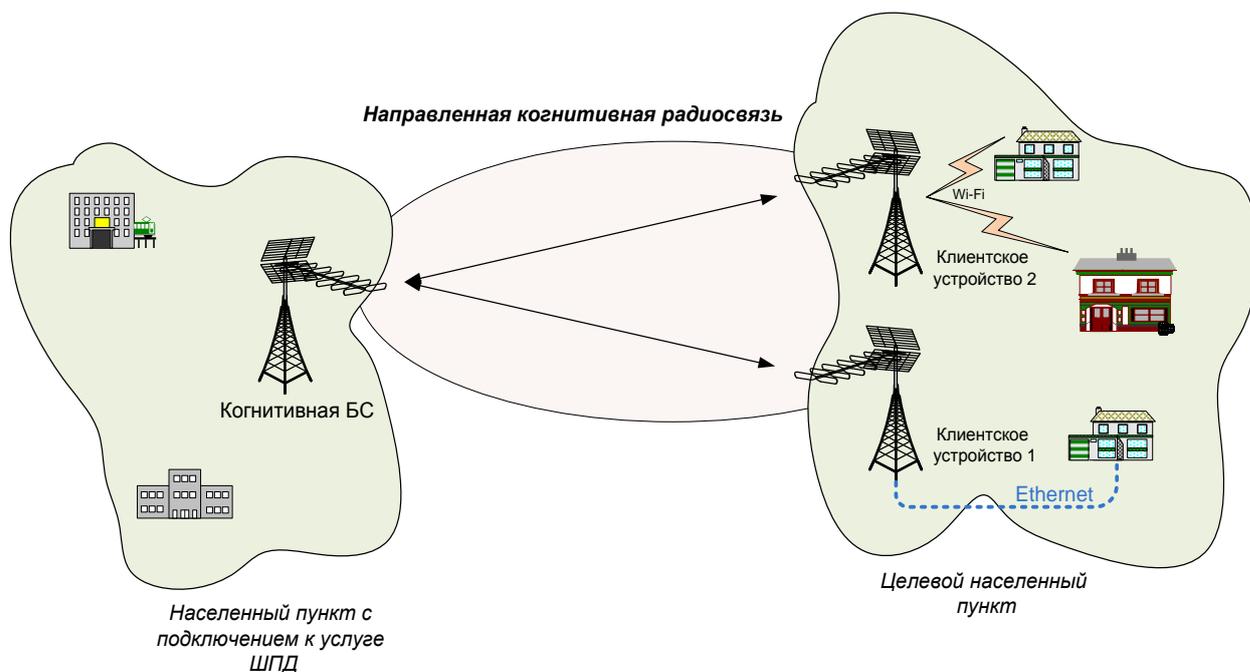


Рисунок 4.6 - Межпоселковая линия связи точка-многоточка с использованием направленных антенн в полосе радиочастот 470-686 МГц

За счет этого с учетом использования частот диапазона УВЧ во многих случаях снимается необходимость использования мощных передающих средств и больших высот подвеса антенн базовых станций РЭС КР, что позволяет использовать существующие объекты для размещения антенн (крыши зданий, мачты освещения и т.д.).

На рис. 4.7 показана схема организации линии радиосвязи на основе РЭС КР, состоящей из нескольких пролетов.

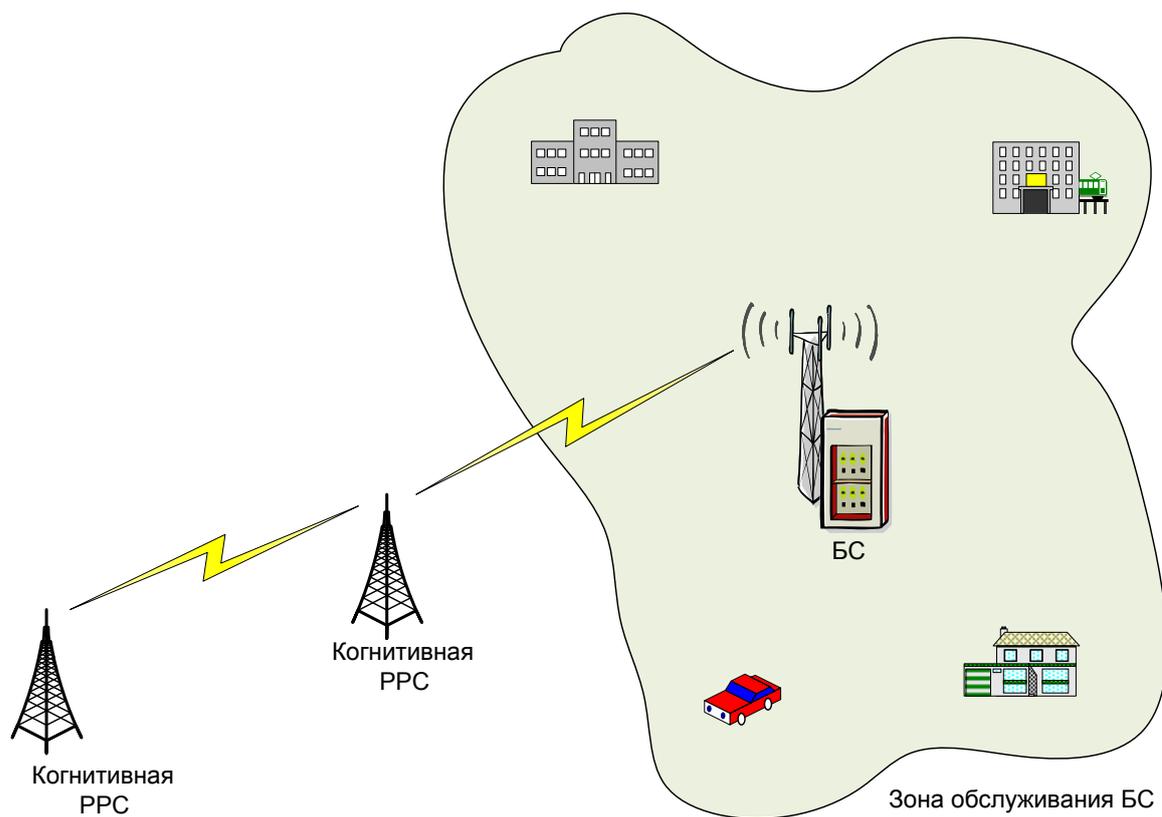


Рисунок 4.7 - Межпоселковая радиорелейная линия связи с использованием когнитивной технологии

Преимуществом данного варианта является отсутствие необходимости создания специального оператора связи. За счет отсутствия оператора связи будет возможно повысить скорость развертывания РЭС КР (снимается зависимость от инвестиционных планов по развитию сетей операторов связи), повысить востребованность (решение о целесообразности установки и выборе конфигурации сети принимают сами пользователи на основании открытой информации о технических характеристиках систем ШПД на основе КР и наличии доступных для использования радиочастот) и снизить стоимость услуг для населения, в том числе полностью исключить взимание абонентской платы. В сельских и удаленных районах возможно использовать модель, при которой сами пользователи следят за эксплуатацией сети и привлекают сервисные организации только в случае выхода из строя оборудования или для модернизации сети. Такой подход может оказаться наиболее оптимальным в связи с практическими трудностями организации эффективной работы единого оператора связи в большом количестве удаленных друг от друга населенных пунктов.

Существенный недостаток когнитивных систем радиосвязи – достаточно высокая цена на оборудование. Поскольку массового внедрения когнитивных устройств по всему миру не происходит, рынок

соответствующего оборудования будет достаточно узким, и соответствующее оборудование будет дороже оборудования массовых стандартов и не столь распространено. Рассматриваемый сценарий позволит решить и эту проблему, поскольку вывода абонентских устройств на массовый рынок и их интеграция в мобильные гаджеты, компьютеры и ТВ приемники не предполагается. Вместо этого абонентское устройство системы межпоселковой радиосвязи будет подключаться к устройству «последней мили» массового стандарта, например Wi-Fi роутеру. Таким образом, в удаленном поселке можно будет практически мгновенно развернуть сеть беспроводного ШПД, поддерживаемую практически всеми существующими абонентскими устройствами.

Также следует учитывать, что дальнейшие расходы на эксплуатацию цифровых РРЛ или линий связи точка-многоточка на основе РЭС КР незначительны, в отличие от других способов связи, где необходимо выделять средства для обеспечения сохранности кабельных или оптоволоконных линий связи либо оплату аренды цифровых каналов. Безлицензионное вещание систем, работающих по принципу когнитивного радио, позволит дополнительно снизить стоимость капитальных затрат на развитие когнитивных сетей РРЛ.

Анализ преимуществ и недостатков существующих технологий беспроводного широкополосного доступа.

Среди существующих технологий беспроводного широкополосного доступа, имеющих радиус зоны обслуживания более 1 км, можно выделить хорошо известные стандарты: LTE и IEEE 802.16 (Wi-MAX). К перспективным системам когнитивного радио можно отнести недавно появившийся стандарт IEEE 802.22. Ниже приведен сравнительный анализ существующих стандартов беспроводной связи.

Wi-MAX (IEEE 802.16) – телекоммуникационная технология, разработанная с целью предоставления универсальной беспроводной связи на больших расстояниях для широкого спектра устройств (от рабочих станций и портативных компьютеров до мобильных телефонов). В таблице 4.1 указаны достижимые скорости передачи данных стандарта IEEE 802.16a/d при разных типах модуляции и с разной шириной радиоканалов.

Таблица 4.1 Скорости передачи данных в стандарте IEEE 802.16

Полоса канала/тип модуляции	QPSK	QPSK	16 QAM	16 QAM	64 QAM	64 QAM
	$\frac{1}{2}$ Мбит/с	$\frac{3}{4}$ Мбит/с	$\frac{1}{2}$ Мбит/с	$\frac{3}{4}$ Мбит/с	$\frac{2}{3}$ Мбит/с	$\frac{3}{4}$ Мбит/с
1.75 МГц	1.04	2.18	2.91	4.36	5.94	6.55
3.5 МГц	2.08	4.37	5.82	8.73	11.88	13.09

7 МГц	4.15	8.73	11.64	17.45	23.75	26.18
10 МГц	8.31	12.47	16.63	24.94	33.25	37.40
20 МГц	16.62	24.94	33.25	49.87	66.49	74.81

LTE – стандарт беспроводной высокоскоростной передачи данных для подвижных сетей связи, работающих при значительных скоростях перемещения, в основном, в городских условиях. Стандарт основан на технологиях GSM/EDGE и UMTS/HSPA, увеличивая пропускную способность и скорость за счет использования улучшенного радиointерфейса вместе с принципиально новым ядром сети. Стандарт был разработан консорциумом 3GPP, разрабатывающим спецификации для мобильной телефонии.

Технология LTE является естественным развитием для операторов GSM/UMTS. Повсеместно в мире используются различные радиочастоты и рабочие полосы, что позволяет подключать к LTE сетям только многодиапазонные абонентские терминалы. В таблице 4.2 указаны скорости передачи данных для различных типов модуляции и полос радиоканала в нисходящем канале.

Таблица 4.2 Скорости передачи данных стандарта LTE в нисходящем канале

Полоса канала/тип модуляции	QPSK 1/2 Мбит/с	16 QAM 1/2 Мбит/с	16 QAM 3/4 Мбит/с	64 QAM 3/4 2x2 MIMO Мбит/с
1.4 МГц	0.9	1.7	2.6	7.8
3 МГц	2.2	4.3	6.5	19.4
5 МГц	3.6	7.2	10.8	32.4
10 МГц	7.2	14.4	21.6	64.8
20 МГц	14.4	28.8	43.2	129.6

Как видно из таблиц 4.1 и 4.2, стандарты LTE и IEEE 802.16 предоставляют хорошие возможности для доступа к скоростному интернету. Эти технологии работают в диапазонах УВЧ и СВЧ, которые характеризуются значительной зависимостью коэффициента ослабления уровня электромагнитного поля от расстояния и так же слабыми дифракционными свойствами. Это означает, что на этих частотах сложно обеспечить доступ к сети на больших расстояниях в сельских и удаленных районах (при благоприятных условиях - наличии прямой видимости на базовую станцию). По этой причине в последнее время предприняты значительные усилия по началу использования полосы 1800 МГц и полос радиочастот в диапазоне ниже 1 ГГц для работы систем LTE.

Стандарт **WRAN (IEEE 802.22)** разработан специально для работы на территориях с малой плотностью населения, в связи с тем, что вероятность наличия свободных телевизионных каналов в такой географической зоне существенно возрастает. Согласно спецификации IEEE типовыми областями применения этого стандарта станут географические зоны, которые относятся к сельской местности. Предложенная спецификация позволит провайдерам интернет-услуг обеспечить жителям, особенно сельских районов, ШПД при достаточно высокой пропускной способности. Увеличение радиуса действия удалось достичь благодаря снижению рабочего диапазона частот, обычно используемых технологиями Wi-Fi, Wi-Max или LTE. Этот стандарт разработан специально для функционирования в телевещательном диапазоне частот. Радиус зоны обслуживания такой системы является масштабируемой величиной, т.к. стандарт позволяет применять различные сочетания типов модуляций и систем кодирования, таким образом, максимальный радиус зоны обслуживания может достигать величины в 100 км, при идеальных условиях распространения. Наиболее типовым радиусом зоны обслуживания является расстояние от 10 до 30 км.

Разработчики отмечают, что IEEE 802.22 WRAN является одной из первых спецификаций, использующих в полной мере когнитивные технологии в радиосвязи. Таким образом, стандарт позволяет эффективно использовать имеющийся спектр рабочих частот без необходимости получения лицензий. В результате это позволяет достичь скорости передачи данных до 22Мбит/с для полосы пропускания 6 МГц. В таблице 4.3 представлены основные режимы стандарта IEEE 802.22.

Таблица 4.3 Режимы работы стандарта IEEE 802.22

Режим	Тип модуляции	Скорость кодирования	Скорость передачи данных в канале, Мбит/с	Спектральная эффективность
1	QPSK	1/2	4.54	0.76
2	QPSK	2/3	6.05	1.01
3	QPSK	3/4	6.81	1.13
4	QPSK	5/6	7.56	1.26
5	16-QAM	1/2	9.08	1.51
6	16-QAM	2/3	12.10	2.02
7	16-QAM	3/4	13.61	2.27
8	16-QAM	5/6	15.13	2.52
9	64-QAM	1/2	13.61	2.27
10	64-QAM	2/3	18.15	3.03
11	64-QAM	3/4	20.42	3.40
12	64-QAM	5/6	22.69	3.78

Топология сети радиодоступа в стандарте 802.22 представляет собой древовидную структуру с узлом в населенном пункте, где доступно подключение к сети широкополосного доступа.

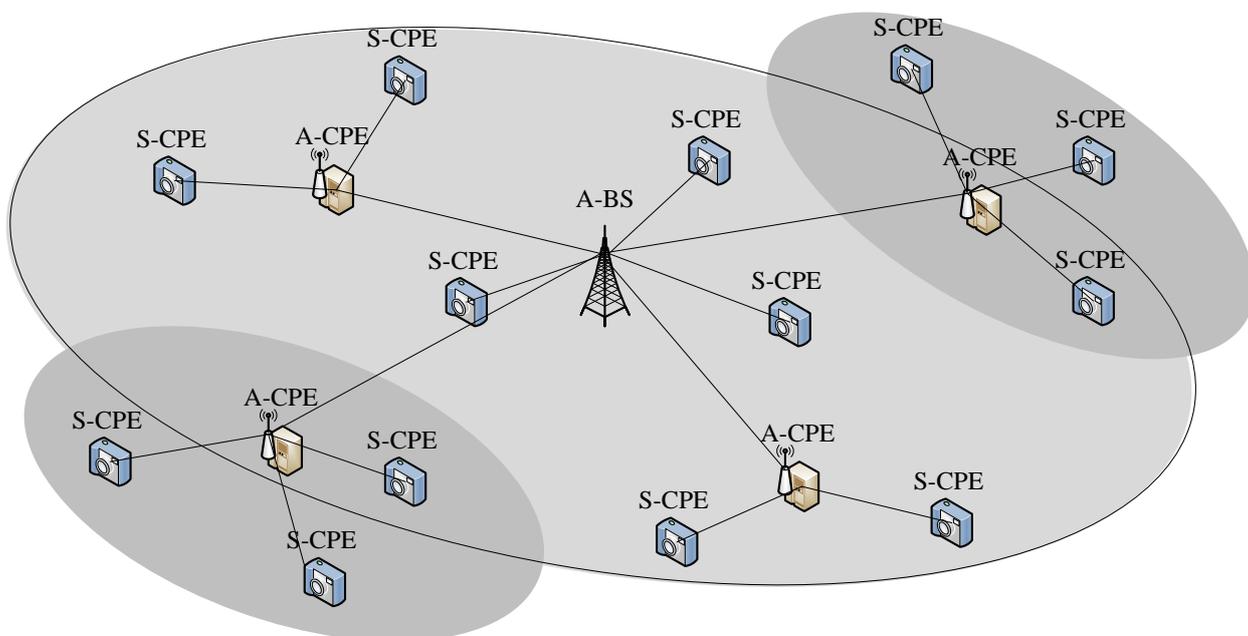


Рисунок 4.8 Структура сети КР стандарта IEEE 802.22

Для обеспечения радиосвязью наиболее удаленных населенных пунктов может создаваться цепочка из нескольких клиентских терминалов, с началом в узловом населенном пункте, где есть доступ к ШПД. Одним из ограничений при создании подобных соединений является конечная нагрузка, которую может выдержать базовая станция, располагающаяся в узловом населенном пункте. Поэтому число звеньев или пролетов, составляющих цепочку из нескольких абонентских устройств, следует ограничить до величины 3-5 звеньев/пролетов, исходя из типовых характеристик уже существующего оборудования.

В таблице 4.4 отражены ключевые параметры существующих технологий беспроводного широкополосного доступа LTE, IEEE 802.16, а также стандарта IEEE 802.22, использующего когнитивные технологии в радиосвязи.

Таблица 4.4 Сравнение ключевых параметров технологий ШПД

Параметры/Стандарт	LTE	IEEE 802.16a/d	IEEE 802.22
Рабочий диапазон радиочастот	700-3600 МГц	2-11ГГц	54-862МГц
Ширина канала	1.4-20 МГц	1.25-20 МГц	6, 7, 8
Метод многостанционного доступа	OFDMA(от БС) SC-FDMA (к БС)	OFDMA(от БС) OFDMA (к БС)	OFDMA
Режим передачи данных	TDD, FDD	FDD ,TDD	TDD
Модуляция	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Скорость передачи данных	До 300 Мбит/с в нисходящем канале, до 75 Мбит/с в восходящем канале (20 МГц)	До 75 Мбит/с в нисходящем канале (20 МГц)	До 22.69 Мбит/с в нисходящем канале
Спектральная эффективность	До 5 бит/с/Гц	До 3.75 бит/с/Гц	До 3.12 бит/с/Гц
Дальность действия	5-30 км	2-3км	30-50 км
Технология MIMO	да	да	нет

Если рассматривать данные стандарты с социально-экономической точки зрения, то можно отметить, что технология Wi-MAX не оправдала возлагавшихся на нее надежд по ценовым характеристикам. Главной проблемой развития экосистемы оборудования и услуг стандарта Wi-Max являлась жесткая конкуренция с системами LTE, активно продвигаемыми консорциумом 3GPP посредством операторов подвижной связи. Основным преимуществом LTE является то, что этот стандарт является следующей

степенью развития технологии 2G/3G (в то время как Wi-MAX является отдельной ветвью эволюции беспроводного ШПД). На сегодняшний день в 138 странах запущены коммерческие сети LTE (данные по состоянию на апрель 2015г). На сегодняшний день большинство производителей оборудования поддержали именно технологию LTE: Alcatel-Lucent, Nokia, Ericsson и совместное предприятие Sony Ericsson. Для технологии LTE в настоящее время выделяются все новые частотные диапазоны, что создает основу для развития услуг ШПД. В то же время для применения в районах с низкой плотностью населения и недостаточно развитой инфраструктурой обе технологии не слишком эффективны, так как требуют высоких затрат оператора на строительство сети базовых станций и линий связи между ними.

Внедрение сетей на основе стандарта IEEE 802.22 потребует новых инженерно-технических и нормативно-правовых решений. Сценарий внедрения устройств, работающих по принципу когнитивного радио, а также экономическая эффективность от внедрения технологии определяется емкостью доступного частотного ресурса. Размер и величина так называемых «белых пятен» определяют возможности когнитивных устройств, как по зоне обслуживания, так и по пропускной способности. Поэтому для формирования сценариев использования систем когнитивного радио необходимо оценить размеры участков с доступным частотным ресурсом на заданной территории. В зависимости от конкретного региона доступный частотный ресурс для работы когнитивных устройств может изменяться в весьма широких пределах.

Преимуществом стандарта является уникальный подход к решению вопроса о выделении радиочастот (принцип когнитивного радио), и, соответственно, отсутствие необходимости проведения экспертизы и оформления разрешений на использование радиочастот могут сделать системы на основе принципа когнитивного радио распространенной технологией беспроводной связи для покрытия больших территорий, особенно в сельских и удаленных районах. Важным конкурентным преимуществом данной технологии является также отсутствие необходимости в создании инфраструктуры оператора связи. Головная станция РЭС КР, как и абонентские станции, могут размещаться на обычных строениях и объектах, обеспечивая при этом связь на достаточно большие расстояния.

На территории РФ существует множество поселков и деревень, куда оптоволоконные линии связи прокладывать нецелесообразно из-за небольшого количества потенциальных пользователей и значительной стоимости проекта. Но поскольку потребности существуют и ежегодно возрастают, то выходом становится построение цифровых РРЛ. При этом если использовать когнитивные РРС, то не потребуется выделять дополнительные средства на получение лицензии для работы в радиочастотном диапазоне, что будет существенно сокращать капитальные

расходы. Так же при построении радиолинии, основанной на когнитивных РРС, будет существенно уменьшено число пролетов, необходимых для создания устойчивого соединения. Это объясняется обратно пропорциональной зависимостью коэффициента передачи среды распространения радиоволны от квадрата частоты. На рис. 2.10 приведены графики зависимости мощности на приеме от расстояния для различных радиочастот, которые принадлежат классическим диапазонам радиочастот, выделяемых для РРЛ, и радиочастот телевещательного диапазона. При этом мощность передатчика принята равной 10Вт, коэффициенты усиления приемной и передающей антенны равными 12дБи.

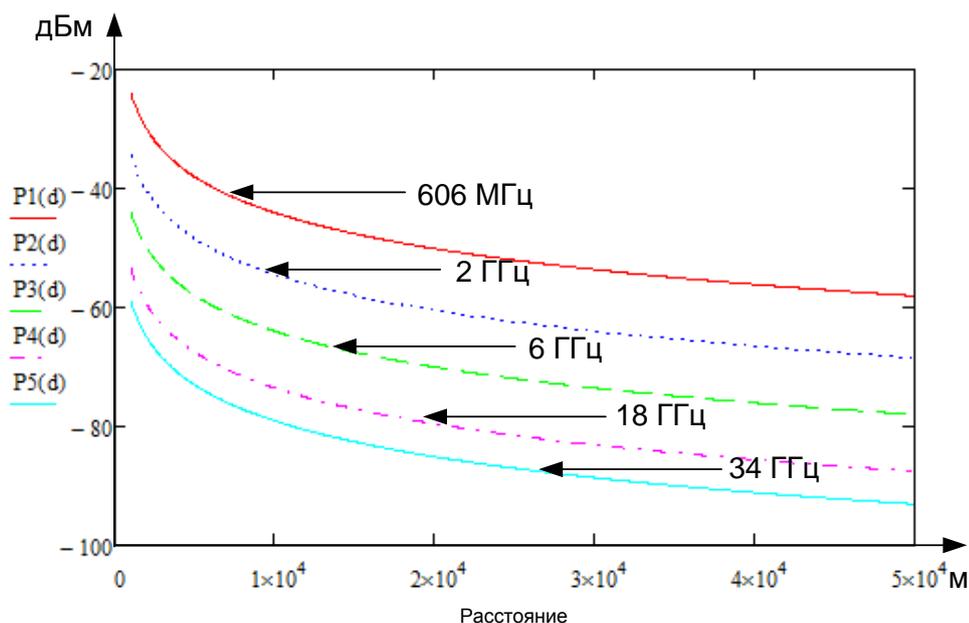


Рис 4.9 Зависимость мощности сигнала от расстояния для разных частот радиосигнала

Приведенная на рис. 4.9 зависимость указана для условий открытых трасс, в реальности основным препятствием для достижения размеров зон обслуживания часто являются препятствия на местности. Все полосы радиочастот, указанные на рисунке, не обеспечивают характеристик огибания радиоволной крупных препятствий, достаточных для существенного расширения зоны обслуживания на пересеченной и среднепересеченной местности. Однако, использование полосы радиочастот 470-686 МГц все же может обеспечить ощутимое преимущество над более высокими полосами радиочастот при условии использования достаточно высоких антенно-мачтовых сооружений для размещения БС и преобладания открытой местности. В то же время при массовом освоении сетями подвижной связи 4 поколения полос радиочастот 800, 900 и 1800 МГц данное преимущество почти исчезнет.

Сети подвижной связи и беспроводного широкополосного доступа строятся в лицензированных полосах частот, выделенных определенным операторам на значительной территории или по всей стране вне зависимости

от фактического их использования. Основным преимуществом сетей КР перед сетями других стандартов является принцип безлицензионного использования спектра, который позволяет организовать более эффективное использование полос радиочастот большим количеством региональных и местных пользователей. Мелкие операторы и сами пользователи могут более оперативно чутко реагировать на потребности региональных и местных рынков и в этом состоит их преимущество. Примером успешности подобного подхода является развитие «последней мили» проводного интернета в России, которое проводилось в основном силами относительно малых региональных и местных операторов. В наши дни по развитию проводного широкополосного доступа Россия находится значительно выше в мировых рейтингах, чем по развитию беспроводного. Одной из возможных причин такого отставания России в развитии беспроводного ШПД является жесткое регулирование использования радиочастот и практика выделения полос частот ограниченному кругу операторов под применение самых современных стандартов, требующих закупок дорогостоящего оборудования за рубежом. Использование принципов когнитивного радио позволит организовать максимально быстрое и гибкое развертывание сетей ШПД в сельских и малонаселенных районах местности, в том числе там, где коммерческие операторы сетей проводной, подвижной связи и беспроводного ШПД не предоставляют услуг широкополосного подключения к сетям передачи данных.

Основные недостатки применения систем когнитивного радио связаны также с моделью использования радиочастотного спектра, не гарантирующей наличие радиочастот в течение всего расчетного срока эксплуатации сети, и с работой внутри рабочего диапазона ТВ приемников (что создает сложности обеспечения ЭМС и приводит к ограничениям на эксплуатацию РЭС КР в некоторых районах). Смягчение указанных ограничений КР может быть достигнуто за счет применения специальных правил и процедур обеспечения функционирования РЭС КР, рассмотренных в данном отчете (раздел 4).

5. Защита вещательных служб в полосе радиочастот 470-790 МГц

5.1 Исследования совместимости устройств WSD и телевизионных станций, проведенные в Российской Федерации

Таблица 5.1. Основные технические характеристики РЭС когнитивных систем широкополосного беспроводного доступа в полосе радиочастот 470-686 МГц

Наименование параметра		Значение параметра	Размерность параметра
Метод разделения каналов		Временной, TDD	
Максимальная ЭИИМ	для базовых станций	6	дБВт

Наименование параметра		Значение параметра	Размерность параметра
	для портативных и персональных РЭС	0	дБВт
Диапазон автоматической регулировки мощности передатчика, не менее		20	дБ
Автоматическое определение местоположения устройства с точностью		50	м
Выбор рабочих каналов должен осуществляться по запросам к базе данных защищаемых РЭС, а при невозможности связи с базой данных должно обеспечиваться автоматическое прекращение работы устройства на излучение			

Технические характеристики прототипа приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 Технические характеристики прототипа

Наименование параметра	Значение параметра
Диапазон рабочих частот, МГц	от 470 до 686
Шаг сетки частот, МГц	1
Тип дуплекса	временной (TDMA)
Ширина полосы перестройки частот, МГц	216
Вид модуляции	BPSK / QPSK / QAM16 / QAM64 (программно-изменяемая)
Помехоустойчивое кодирование	LDPC и блочное
Степень кодирования	5/6 и 15/16
Скорость передачи (основной поток), Кбит/с	от 300 до 15000 (программно-изменяемая)
Нестабильность частоты, ppm	± 5
Выходная мощность передатчика, дБм	23 ± 1
Регулировка мощности передатчика с шагом 1 дБ, дБ	от +0 до -10
Ширина спектра излучения передатчика, МГц	1.5; 3; 6; 12 (программно-изменяемая)
Уровень побочных излучений, дБм	- 50
Минимально допустимый уровень сигнала на входе приёмника (чувствительность), дБВт, при FER = 10^{-2} / 10^{-3}	от - 128/ -125 до -98/95 (в зависимости от вида модуляции и ширины спектра излучения)

Наименование параметра		Значение параметра
Максимально допустимый уровень сигнала на входе приёмника, дБм	не приводящий к выходу из строя	6
	при FER $\leq 1 \cdot 10^{-2}$	-3, не менее
	при FER $\leq 1 \cdot 10^{-3}$	-10, не менее
Допустимый уровень интерференции соседних каналов, дБ		0
Напряжение питания, В		номинальное значение напряжения (U _{пит}) минус 60 (-39...-72)
Потребляемая мощность, Вт		40
Максимальная длина кабеля снижения		до 100 метров – U _{пит} = - 60 В;

Ниже приведены результаты лабораторных испытаний средств когнитивной системы и тестовых телевизионных приемников. Все защитные отношения приведены для гауссовского канала передачи.

5.2. Защитные отношения для полезных сигналов цифрового наземного телевидения DVB-T2, испытывающих помехи от когнитивного оборудования

Параметры сигнала цифрового наземного телевидения DVB-T2 (для таблиц 5.3-5.7):

Модуляция 64 QAM

Ширина полосы частотного канала 8 МГц

Режим использования несущих 32К

Кодовая скорость 4/5

Защитные отношения измерены для трёх разных приёмников, работающих в соответствии со стандартом DVB-T2:

ORIEL 810 – таблица 5.3

GENERAL SATELLITE TE8714 – таблица 5.4

Измерительное оборудование ROHDE&SCHWARZ – таблицы 5.5-5.7

Схема измерений представлена на рис. 5.1.

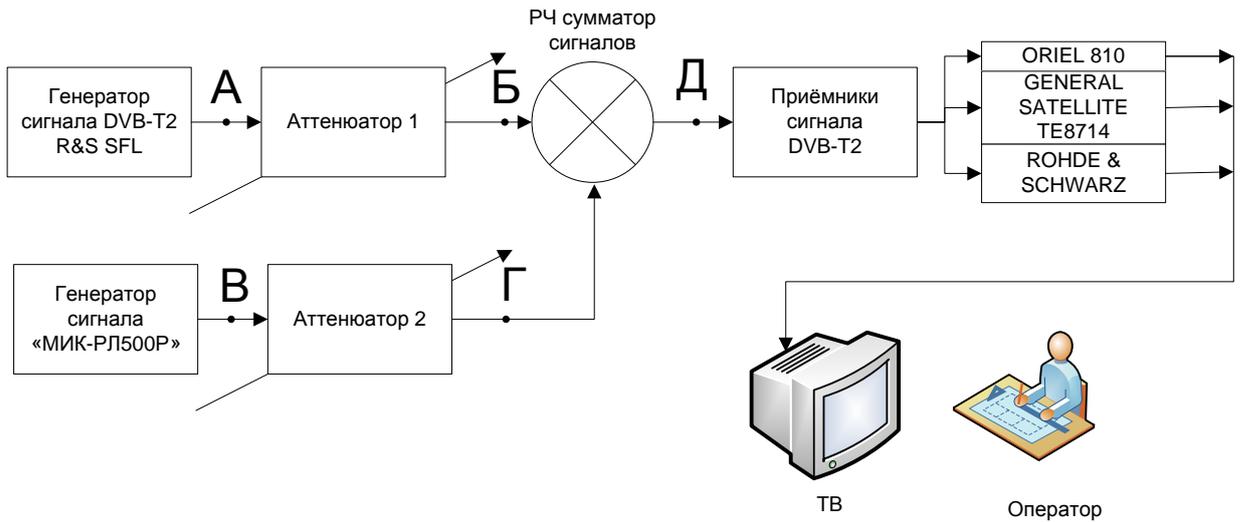


Рисунок 5.1. Схема измерений защитных отношений для полезных сигналов цифрового наземного телевидения DVB-T2, испытывающих помехи от когнитивного оборудования

А – сигнал DVB-T2 с постоянным уровнем;

Б – полезный сигнал DVB-T2 с заданными уровнями на входе приёмника: -70 дБм, -60 дБм, -50 дБм, -40 дБм (на рисунке 5.2 представлены соответствующие спектрограммы сигналов);

В – сгенерированный сигнал когнитивной системы (спектрограмма представлена на рисунке 5.3);

Г – сигнал с регулируемым уровнем для определения мешающего сигнала, при котором появляются искажения;

Д – сигнал на выходе РЧ сумматора, поступающий на вход приёмных устройств STB.

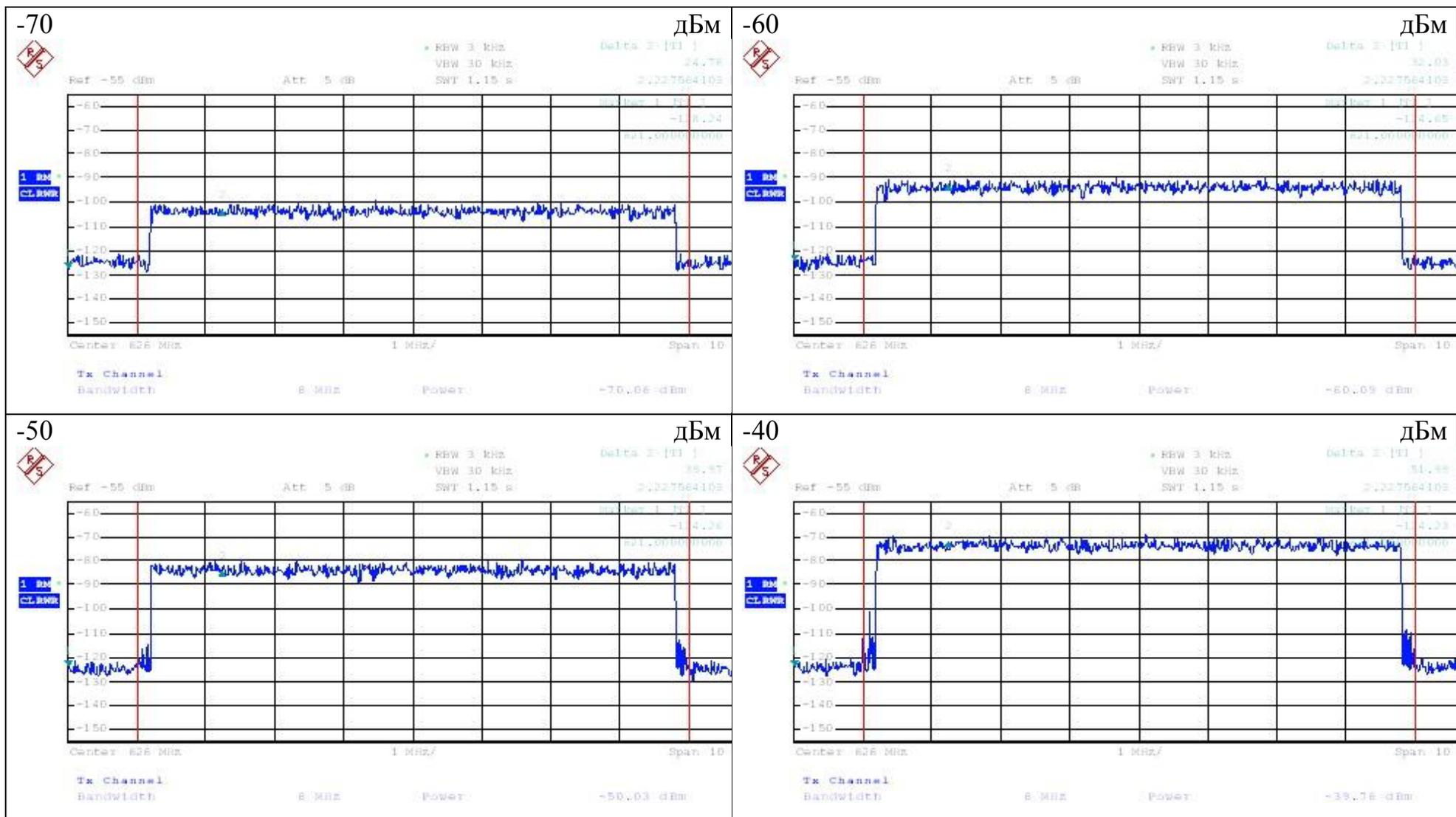


Рисунок 5.2 Спектрограммы сигналов DVB-T2

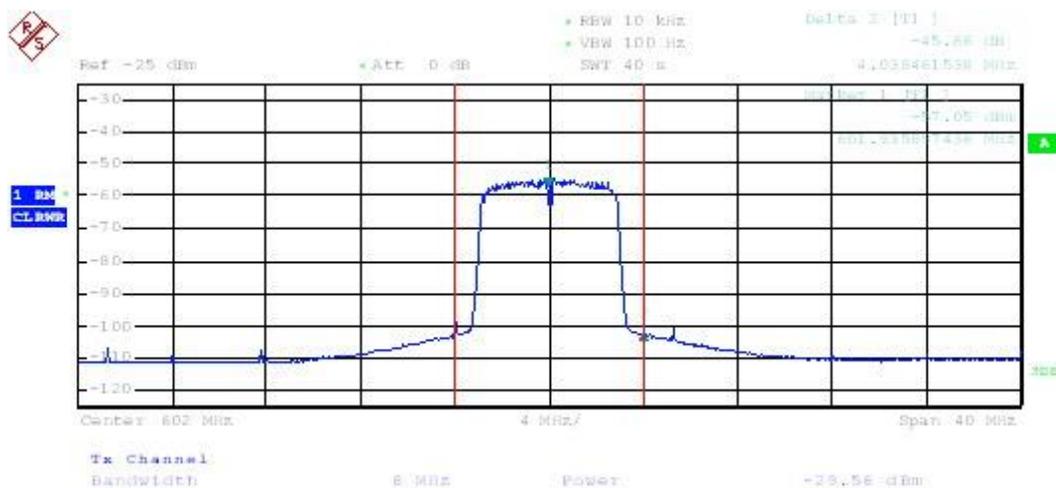


Рисунок 5.3 Спектрограмма сигнала когнитивного оборудования

Таблица 5.3 Защитные отношения (дБ) для сигнала DVB-T2 (ORIEL 810), испытывающего помехи от когнитивного оборудования

Мощность сигнала DVB-T2 на входе приёмника	-60 дБм	-50 дБм	-40 дБм
Канал	Защитное отношение, дБ	Защитное отношение, дБ	Защитное отношение, дБ
N-14	-41	-35.5	-
N-13	-40	-35	-
N-12	-40	-35	-
N-11	-39	-35	-
N-10	-39	-35	-
N-9	-38	-35	-
N-8	-38	-35	-
N-7	-38	-34.5	-
N-6	-38	-34	-
N-5	-38	-34	-
N-4	-38	-33.5	-
N-3	-38	-33	-
N-2	-37.5	-32.5	-31
N-1	-39.5	-29.5	-25
N	16	16	15
N+1	-37	-29.5	-25
N+2	-37.5	-33	-31
N+3	-38	-32	-

Мощность сигнала DVB-T2 на входе приёмника	-60 дБм	-50 дБм	-40 дБм
N+4	-38	-33	-
N+5	-38.5	-34	-

Таблица 5.4. Защитные отношения (дБ) для сигнала DVB-T2 (GENERALSATELLITETE8714), испытывающего помехи от когнитивного оборудования

Мощность сигнала DVB-T2 на входе приёмника	-70 дБм	-60 дБм	-50 дБм	-40 дБм
Канал	Защитное отношение, дБ	Защитное отношение, дБ	Защитное отношение, дБ	Защитное отношение, дБ
N-14	-43.5	-42.5	-45.5	-
N-13	-43	-42	-45	-
N-12	-43	-42	-45	-
N-11	-43	-42	-45	-
N-10	-43	-42	-45	-
N-9	-43	-42	-45	-
N-8	-43	-42	-45	-
N-7	-43	-42	-38.5	-
N-6	-43	-42	-39	-
N-5	-42.5	-41.5	-39	-
N-4	-42	-41.5	-39	-
N-3	-42	-41	-39	-
N-2	-41	-41	-39	-
N-1	-34	-35.5	-31	-26
N	18	16	16	16
N+1	-35	-35	-30	-23
N+2	-40	-41	-40	-30
N+3	-41	-41	-36.5	-
N+4	-41	-41.5	-41	-
N+5	-41.5	-42	-42	-

Таблица 5.5. Защитные отношения (дБ) для сигнала DVB-T2 (ROHDE&SCHWARZ), испытывающего помехи от когнитивного оборудования

Мощность сигнала DVB-T2 на входе приёмника	-50 дБм
Канал	Защитное отношение, дБ
N-14	-40
N-13	-40
N-12	-40
N-11	-40
N-10	-40
N-9	-40
N-8	-40
N-7	-40
N-6	-40
N-5	-40
N-4	-40
N-3	-40
N-2	-40
N-1	-37
N	18
N+1	-37
N+2	-40
N+3	-40
N+4	-40
N+5	-40

В таблице 5.6 и 5.7 приведены защитные отношения (дБ) для большинства режимов DVB-T2 и двух режимов PilotPattern.

Таблица 5.6. Защитные отношения (дБ) для сигнала DVB-T2 режим PP4 (ROHDE&SCHWARZ), испытывающего помехи от когнитивного оборудования

Мощность сигнала DVB-T2 на входе приёмника -50 дБм			
Модуляция	Кодовая скорость	Защитное отношение, дБ	
		Совмещенный канал	Смежный канал
QPSK	1/2	5.1	-46.6
QPSK	3/5	5.2	-46.5
QPSK	2/3	5.3	-46.4
QPSK	3/4	5.6	-46.0
QPSK	4/5	6.3	-45.8
QPSK	5/6	6.8	-45.7
16-QAM	1/2	8.4	-45.5
16-QAM	3/5	9.5	-45.3
16-QAM	2/3	10.5	-45.0
16-QAM	3/4	11.4	-44.2
16-QAM	4/5	12.2	-42.0
16-QAM	5/6	13.0	-40.4
64-QAM	1/2	12.1	-40.6
64-QAM	3/5	13.5	-40.3
64-QAM	2/3	14.9	-39.9
64-QAM	3/4	16.7	-39.7
64-QAM	4/5	17.7	-38.2
64-QAM	5/6	18.8	-37.0
256-QAM	1/2	16.3	-39.7
256-QAM	3/5	18.1	-38.7
256-QAM	2/3	19.9	-37.8
256-QAM	3/4	21.6	-30.8
256-QAM	4/5	22.7	-30.1
256-QAM	5/6	23.8	-29.4

Таблица 5.7 Защитные отношения (дБ) для сигнала DVB-T2 режим PP7 (ROHDE&SCHWARZ), испытывающего помехи от когнитивного оборудования

Мощность сигнала DVB-T2 на входе приёмника -50 дБм			
Модуляция	Кодовая скорость	Защитное отношение, дБ	
		Совмещенный канал	Смежный канал
QPSK	1/2	4.4	-46.8
QPSK	3/5	4.5	-46.6
QPSK	2/3	4.6	-46.4
QPSK	3/4	5.5	-46.2
QPSK	4/5	6.1	-46.0
QPSK	5/6	6.6	-45.9
16-QAM	1/2	7.4	-45.8
16-QAM	3/5	8.9	-45.5
16-QAM	2/3	10.5	-45.3
16-QAM	3/4	11.4	-45.0
16-QAM	4/5	12.2	-42.8
16-QAM	5/6	13.1	-40.5
64-QAM	1/2	11.8	-40.6
64-QAM	3/5	13.1	-39.5
64-QAM	2/3	14.8	-38.4
64-QAM	3/4	16.7	-36.9
64-QAM	4/5	17.5	-36.1
64-QAM	5/6	18.5	-35.3
256-QAM	1/2	16.7	-37.3
256-QAM	3/5	17.1	-35.5
256-QAM	2/3	19.6	-33.6
256-QAM	3/4	21.5	-31.0
256-QAM	4/5	22.6	-30.3
256-QAM	5/6	23.7	-29.5

5.3. Защитные отношения для полезных сигналов аналогового наземного телевидения (K/SECAM), испытывающих помехи от когнитивного оборудования

Схема измерений представлена на рисунке 5.4.

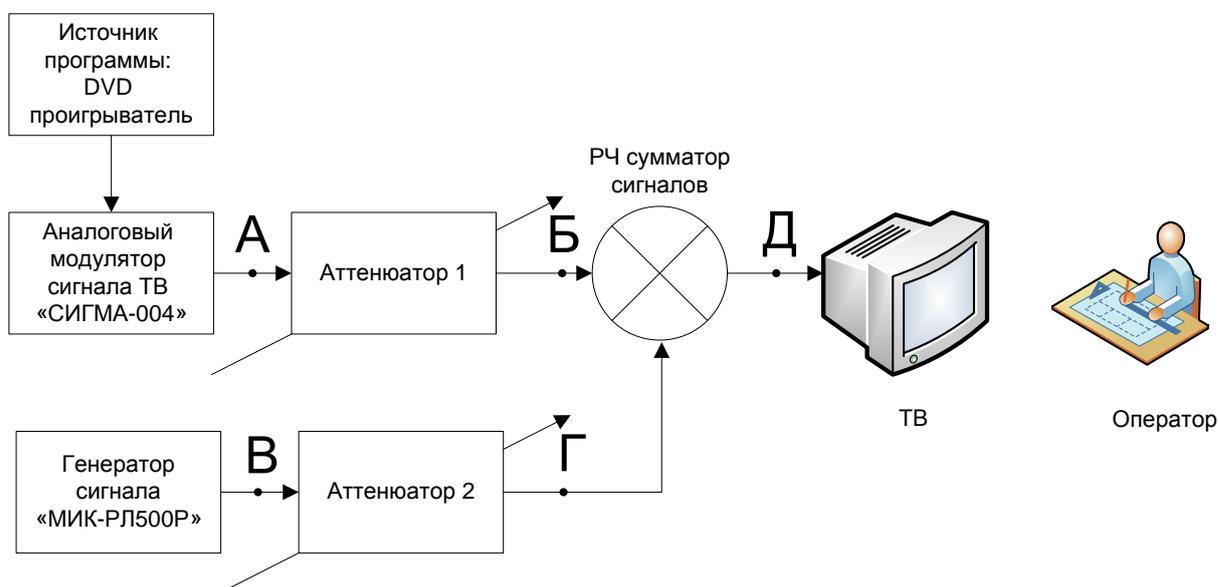


Рисунок 5.4 Схема измерений защитных отношений для полезных сигналов аналогового наземного телевидения (K/SECAM), испытывающих помехи от когнитивного оборудования

А – модулированный аналоговый сигнал с квазипостоянным уровнем (спектрограмма представлена на рисунке 5.5);

Б – полезный сигнал с заданными уровнями на входе приёмника: -39 дБм, -29 дБм, -19 дБм;

В – сгенерированный сигнал с уровнем 20 дБм (спектрограмма представлена на рисунке 5.6);

Г – сигнал с регулируемым уровнем для определения мешающего сигнала, при котором появляются искажения;

Д – сигнал на выходе РЧ сумматора, поступающий на вход ТВ, по которому визуально определяется защитное отношение.

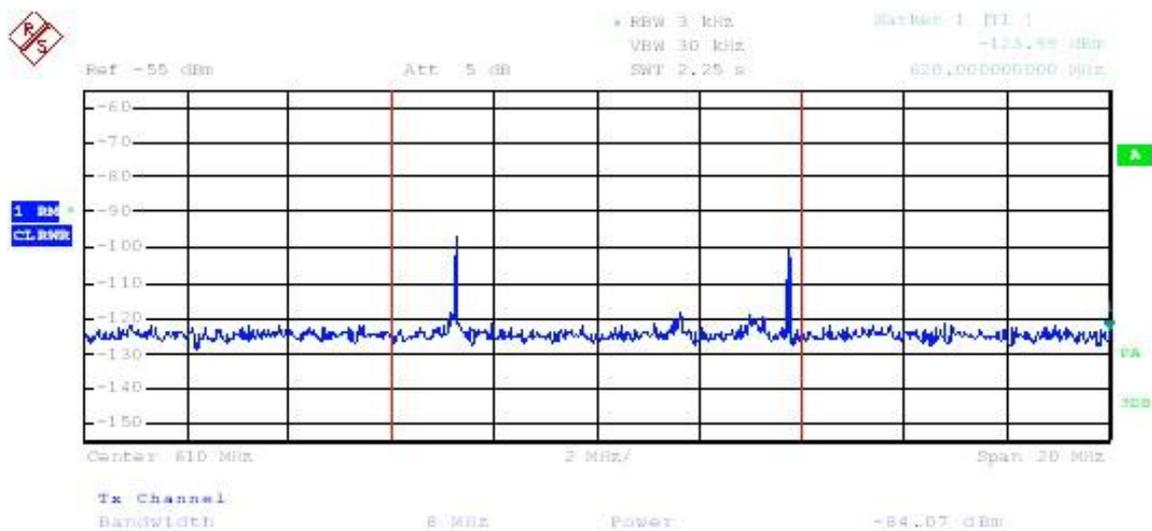


Рисунок 5.5. Спектрограмма аналогового сигнала

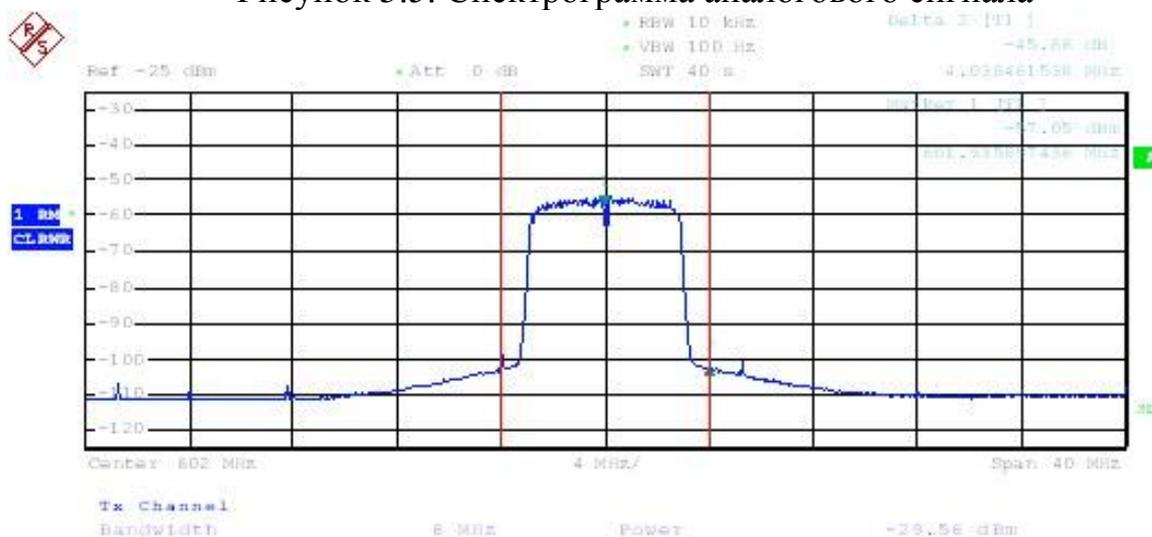


Рисунок 5.6. Спектрограмма сигнала когнитивного оборудования

Таблица 5.8. Защитные отношения (дБ) для сигнала аналогового наземного телевидения, испытывающего помехи от когнитивного оборудования

Мощность аналогового сигнала на входе приёмника	Защитные отношения (дБ)		
	-39 дБм	-29 дБм	-19 дБм
Канал	Защитное отношение, дБ	Защитное отношение, дБ	Защитное отношение, дБ
N-19	-34	-33	-
N-18	-34	-34	-
N-17	-34	-34	-
N-16	-34	-34	-
N-15	-34	-34	-
N-14	-34	-34	-

Мощность аналогового сигнала на входе приёмника	-39 дБм	-29 дБм	-19 дБм
N-13	-34	-34	-
N-12	-34	-34	-
N-11	-34	-34	-
N-10	-34	-34	-
N-9	-34	-34	-
N-8	-34	-34	-
N-7	-33	-33	-
N-6	-33	-33	-
N-5	-32	-32	-
N-4	-32	-32	-
N-3	-31	-31	-23
N-2	-28	-31	-22
N-1	-19	-19	-20
N	25	25	25
N+1	-24	-24	-24
N+2	-30	-30	-25
N+3	-33	-28	-22
N+4	-34	-31	-
N+5	-35	-32	-
N+6	-35	-32	-
N+7	-36	-33	-
N+8	-36	-33	-
N+9	-34	-31	-

5.4. Защитные отношения для полезных сигналов когнитивного оборудования, испытывающих помехи от сигнала цифрового наземного телевидения DVB-T2

Параметры сигнала цифрового наземного телевидения DVB-T2:

Модуляция 64 QAM

Ширина полосы частотного канала 8 МГц

Режим использования несущих 32К

Кодовая скорость 4/5

Параметры сигнала цифрового когнитивного оборудования:

Модуляция BPSK

Ширина полосы частотного канала 1.5 МГц

Скорость приёма 200 кбит/с

Таблица 5.9 Защитные отношения (дБ) для сигнала цифрового когнитивного оборудования, испытывающего помехи от сигнала цифрового наземного телевидения DVB-T2

Мощность сигнала передающего когнитивного оборудования на входе приёмника -60 дБм			
Канал	Совмещённый	Соседний	Смежный
Защитное отношение, дБ	-3	-39	-57

Результаты испытаний в виде зависимостей пропускной способности канала на приёмной стороне когнитивного оборудования в направлении «вниз» от частотного разнеса и уровня воздействующей на входе приёмника непреднамеренной помехи, создаваемой передатчиком цифрового телевизионного вещания стандарта DVB-T2, приведены на рисунке 5.5.

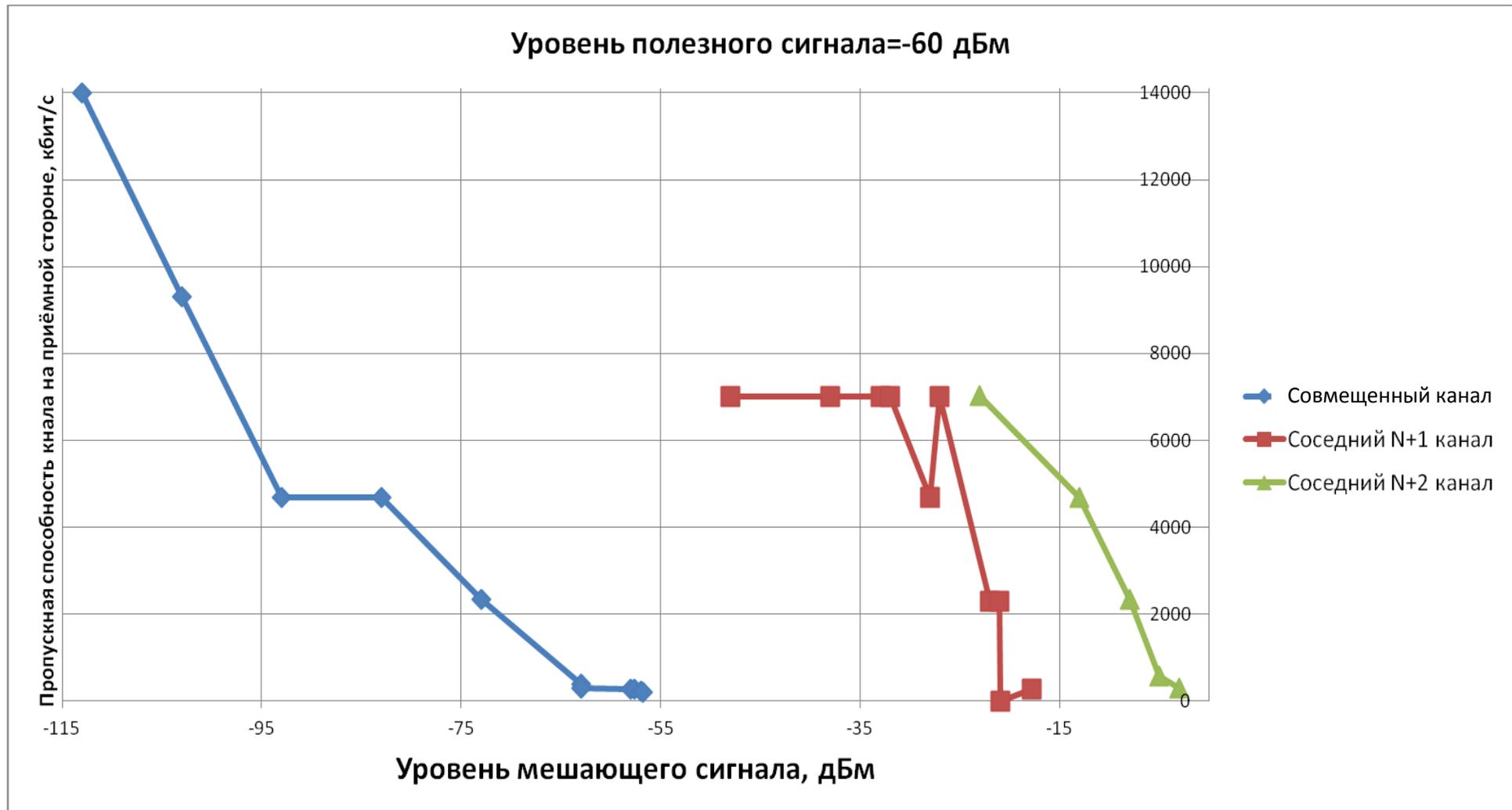


Рисунок 5.5 Зависимость пропускной способности канала на приёмной стороне когнитивного оборудования в направлении «вниз» от уровня помехового сигнала DVB-T2 в совмещённом канале, в соседних каналах, отстроенных на 8 МГц и 16 МГц для уровня полезного сигнала равного -60дБм

6 Принципы использования систем когнитивного радио в приграничных районах с применением геолокационных баз данных

Использование систем когнитивного радио в приграничных районах может быть рассмотрено на основе применения геолокационных баз данных.

Для использования систем когнитивного радио в приграничных районах с применением геолокационных баз данных возможны следующие подходы:

1. Принятие администрацией связи решения о создании геолокационной базы данных, используемой ею на национальном уровне (далее – национальная геолокационная база).

2. Согласование принципов и технических критериев использования радиочастотных каналов системами когнитивного радио в приграничных районах на основе одного или нескольких приведенных подходов:

внесение в национальную геолокационную базу данных технических ограничений на использование радиочастот системами когнитивного радио со стороны сопредельного государства (например, уровень напряженности поля в приграничной зоне, мощность сигнала системы когнитивного радио или запрещенные каналы);

взаимодействие национальных геолокационных баз данных в процессе определения возможности использования радиочастот когнитивными устройствами с динамическим доступом к спектру в приграничных районах; создание общей геолокационной базы данных защищаемых РЭС.

3. Станции систем когнитивного радио не должны причинять помех и не могут требовать защиты от вредных помех со стороны станций служб радиосвязи, распределенных в данной полосе частот.

4. Обеспечение равноправного доступа администраций связи к спектру.

6.1 Создание национальной геолокационной базы данных

Принимая во внимание недостаточный опыт эксплуатации систем когнитивного радио, их использование на вторичной основе в диапазоне УВЧ большую социальную значимость сетей наземного телевизионного вещания и сложность управления системами когнитивного радио, необходимо обеспечить уровень регулирования использования спектра когнитивными радиосистемами, при котором будет выполняться условие не создания помех и отсутствие требований по защите от помех в отношении других служб радиосвязи с более высоким приоритетом.

Такой уровень управления системами когнитивного радио возможно обеспечить только в случае использования геолокационных баз данных. При этом использование геолокационных баз данных является основным способом реализации функций динамического доступа к спектру, которые могут применяться в системах когнитивного радио.

В целях повышения эффективности эксплуатации систем когнитивного радио возможно совместное использование геолокационных баз данных и спектрального зондирования и/или передатчиков-маяков.

6.2 Согласование принципов и технических критериев использования радиочастотных каналов системами когнитивного радио в приграничных районах

Учитывая возможность использования администрациями связи различных сценариев внедрения систем когнитивного радио, согласование принципов и технических критериев использования радиочастотных каналов системами когнитивного радио в приграничных районах, как было уже сказано выше, возможно с использованием одного или нескольких подходов:

внесение в национальную геолокационную базу данных технических ограничений на использование радиочастот системами когнитивного радио со стороны администрации связи сопредельного государства (например, уровень напряженности поля в приграничной зоне, мощность сигнала системы когнитивного радио или запрещенные каналы);

взаимодействие национальных геолокационных баз данных в процессе определения возможности использования радиочастот когнитивными устройствами с динамическим доступом к спектру в приграничных районах;

создание общей геолокационной базы данных защищаемых РЭС в приграничных районах.

Первый подход может быть реализован в случае, если администрации имеют различный уровень развития систем когнитивного радио. Например, этот подход применим, когда администрация А приняла решение о внедрении систем когнитивного радио (далее – СКР) и о создании национальной геолокационной базы данных, а администрация В не приняла такого решения.

В случае создания национальных геолокационных баз обеими администрациями, становится возможной организация взаимодействия национальных геолокационных баз данных в процессе определения возможности использования радиочастот когнитивными устройствами в приграничных районах.

Такой вариант требует организации обмена запросами между геолокационными базами данных. Недостатком этого метода может являться временная задержка в обработке запросов когнитивных радиосистем, так как в обработке запроса участвуют две геолокационные базы данных.

Пример использования такого подхода приведен на рисунке 6.1:

1. Система когнитивного радио, которая находится в приграничном районе, отправляет запрос к национальной геолокационной базе данных своей администрации "А".
2. Национальная геолокационная база данных (администрация "А") отправляет запрос о возможности использования радиочастотного

канала СКР к сопредельной национальной геолокационной базе данных (администрация "В").

3. Национальная геолокационная база данных (администрация "В") направляет ответ на запрос, который может содержать информацию о том, что: (а) радиочастотный канал разрешен к использованию, или (б) радиочастотный канал разрешен к использованию при условии ограничения технических параметров СКР, или (в) запрет на использование требуемого радиочастотного канала.
4. Национальная геолокационная база данных (администрация "А") определяет режим работы запрашивающей СКР.
5. В случае если ранее разрешенный к использованию для СКР радиочастотный канал более не доступен, администрация "В" должна послать соответствующее обращение в геолокационную базу данных администрации "А", которая должна незамедлительно принять меры и освободить указанный радиочастотный канал.
6. При этом начальные параметры радиочастотных каналов (ширина, мощность, маски излучения и др.) должны быть предварительно согласованы между администрациями.

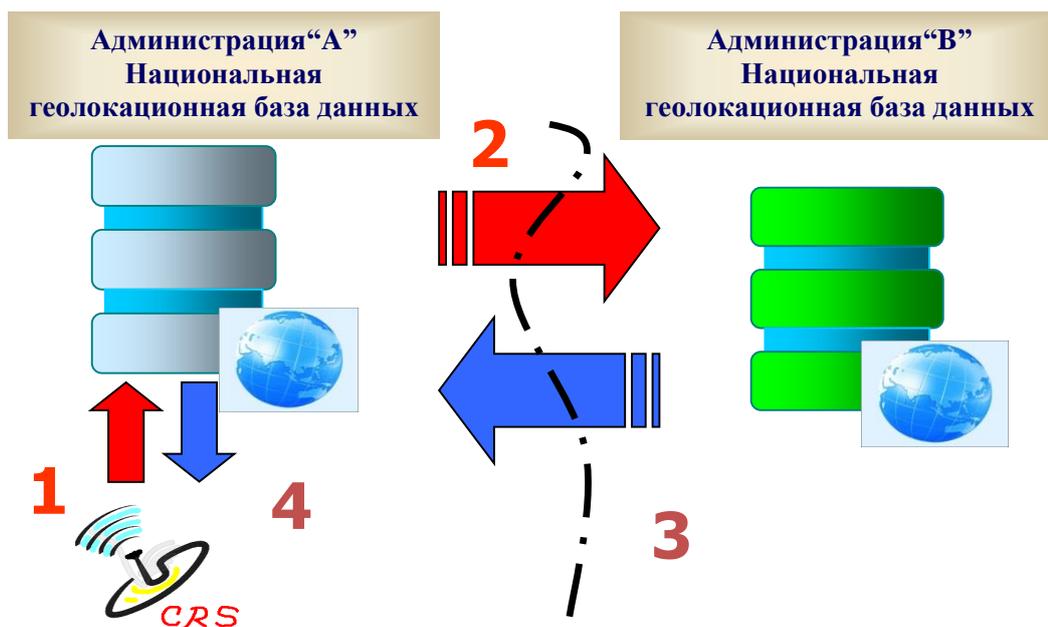


Рисунок 6.1 Взаимодействие национальных геолокационных баз данных в процессе определения возможности использования радиочастот когнитивными устройствами в приграничных районах

Дальнейшим развитием второго подхода является создание общей геолокационной базы данных (рисунок 6.2). Такая общая геолокационная база данных может иметь локальный характер, то есть ее полномочия распространяются только на приграничный район, и она в свою очередь

взаимодействует с национальными геолокационными базами, периодически посылая им отчеты о текущей радиоэлектронной обстановке.

Такое решение позволяет устранить недостаток второго подхода, связанный с увеличением времени обработки запроса СКР, но требует при этом, более высокого уровня сотрудничества администраций А и В, а также создание ими совместных регуляторных норм.

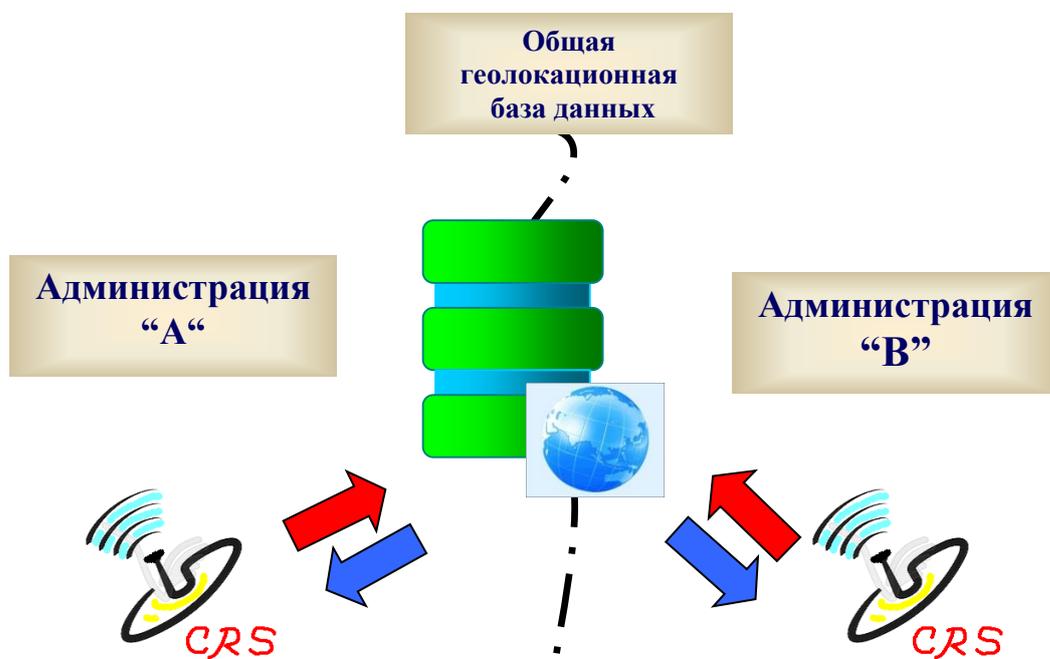


Рисунок 6.2.Общая геолокационная база данных защищаемых РЭС для проведения приграничной координации систем когнитивного радио.

6.3 Обеспечение равноправного доступа администраций связи к спектру

Данный принцип является традиционным: обеспечение равноправного доступа администраций связи к спектру.

Для систем когнитивного радио это требование имеет особое значение. В случае, когда РЭС используют динамический доступ к спектру, возможно возникновение ситуации, когда РЭС одной администрации могут занять большинство имеющихся каналов, что ставит РЭС другой администрации в проигрышное положение. Это требует принятия дополнительных мер, таких как распределение частотного ресурса между администрациями на пропорциональной, преференциальной или приоритетной основе.

При пропорциональном распределении временно неиспользуемого или незанятого спектра имеющиеся свободные каналы распределяются между администрациями поровну или пропорционально в соответствии с критерием, о котором договорились администрации. В этом случае РЭС

систем когнитивного радио могут работать только в полосе радиочастот выделенной их администрации. Такой подход является простым и легко реализуемым решением, но при этом может снижаться эффективность использования спектра.

Повысить эффективность использования спектра возможно при применении преференциального распределения частотного ресурса между администрациями. Суть данного метода заключается в предоставлении одной администрации преимуществ (преференций) части каналов перед другой. В качестве технического критерия может выступать ограничение уровня напряженности поля на заданной высоте на линии границы или на определенном расстоянии от границы на территории сопредельного государства. При этом для части предпочтительных каналов одной администрации устанавливаются большие значения напряженности поля, а для неpreferируемых каналов меньшие значения. При таком подходе СКР обеих администраций получают возможность доступа ко всему временно неиспользуемому частотному ресурсу, но при этом используется как минимум два вида технических ограничений.

Еще одним решением является присвоение приоритета администрациям в части каналов вместо их распределения. Это позволяет обеспечить доступ РЭС обеих администраций ко всей полосе частот, не вводя дополнительных технических ограничений. В этом случае одна администрация в своих полосах частот РЭС имеет приоритет по отношению к РЭС другой администрации. Приоритет выражается в следующем: в случае отсутствия свободных каналов геолокационная база данных в полосе частот, где ей присвоен приоритет, может потребовать от геолокационной базы данных сопредельной администрации освободить один из каналов, занятых ее системой когнитивного радио, и присвоить этот канал своей СКР, пославшей запрос.

7.Проведение экспериментальных работ по практической оценке методов защиты НЦТВ от когнитивного радио

Предлагаемые методы применения когнитивного радио в полосе частот 470-790 МГц требуют разработки эффективных методов защиты наземного цифрового телевизионного вещания от помех, возникающих при работе когнитивных систем. Разработанные в настоящее время защитные отношения требуют практической проверки при проведении экспериментальных работ на реальных сетях ЦТВ.

8. Список использованных документов

1. Отчет МСЭ-RSM.2152. Определения системы радиосвязи с программируемыми параметрами (SDR) и системы когнитивного радио (CRS).
2. Отчет МСЭ-R M.2117-1. Software defined radio in the land mobile, amateur and amateur satellite services.
3. Отчет МСЭ -R M.2225. Introduction to cognitive radio systems in the land mobile service
4. Отчет МСЭ -R M.2242. Cognitive Radio Systems specific for IMT Systems.
5. Вопрос МСЭ-R 230-3/5. Радиосвязь с программируемыми параметрами.
6. Вопрос МСЭ -R 241-2/5. Когнитивные системы радиосвязи в подвижной службе.
7. Вопрос МСЭ -R 235/1. Развитие методов контроля за использованием спектра.
8. Резолюция МСЭ-R 58. Исследования, касающиеся реализации и использования систем когнитивного радио.

**Приложение 1. Международный опыт использования устройств
когнитивного радио**

1. Опыт внедрения когнитивного радио в США

На данный момент в США сформирована нормативная база для использования когнитивного радио в полосе частот телевещательной службы на основе работ проведенных регулятором - FCC. Для нелицензируемых устройств доступны 4 полосы радиочастот (54-72 МГц, 76-88 МГц, 174-216 МГц, и 470-698 МГц). Для реализации системы когнитивного радио используется принцип геолокации и в некоторых случаях принцип зондирования спектра. Для реализации принципов геолокации и создания базы данных было привлечено несколько крупных организаций. Это следующие организации:

- Comsearch
- Google
- Airity
- LS Telcom
- Microsoft
- Neustar
- RadioSoft
- Spectrum Bridge
- Telcordia Technologies

1.1. Опыт FCC по формированию нормативной базы для внедрения устройств когнитивного радио

В настоящее время работает несколько проектов, реализующих механизмы, описанные в нормативных документах FCC. Это проекты носящие условное название «Super Wi-Fi», которые реализуют ШПД доступ на основе «белых пятен» в государственных библиотеках (Дэлавер, Канзас) и так же в плохо обслуживаемых регионах страны (Калифорния, деревня Скоки). Далее будет описан опыт FCC по регулированию работы когнитивных устройств внутри «белых пятен».

В 2002 году в рамках исследований связанных с возможностью использования «белых пятен» было принято решение создать специальную группу SPTF (Spectrum Policy Task Force). Одной из задач группы было разработка рекомендации для повышения эффективности использования радиочастотного спектра. В результате SPTF подготовила отчет, на основе которого FCC запустила программу исследований в отношении расширения полосы спектра нелицензируемых частот ниже 900 МГц и в районе 3ГГц. После выполнения программы исследований должны быть сформированы принципы использования частотного спектра когнитивными устройствами на основе частотно-пространственно-временных пробелов с целью повышения эффективности использования частотных ресурсов. Подобная работа позволила сформулировать перечень требований для доступа когнитивных устройств к спектру.

В период с 2002 по 2012 FCC провело ряд исследований по регулированию функционирования нелицензируемых устройств, работающих в полосе телевидения:

1. FCC 12-36 – Дополнительный спектр частот для устройств работающих в нелицензируемой полосе частот ниже 900 МГц и в полосе 3ГГц; 2002 г.
2. FCC-03-289 - Применение шумовой температуры для оценки и управления допустимым уровнем помех с целью расширения использования безлицензионных применений в некоторых полосах частот фиксированной, подвижной и спутниковых служб. Для управления уровнем помех предложено использовать показатель шумовой (помеховой) температуры в полосе частот; 2003 г.
3. FCC 04-113 – Принятие правил (регулирования) для использования нелицензируемых передатчиков, работающих в полосе телевидения при условии, если в данный момент в данном месте эта полоса не используется лицензируемыми РЭС; 2004 г.
4. FCC-06-156 - Первый Отчет - Безлицензионное использование телевизионных полос частот. Первый шаг на пути принятия разрешения о внедрении маломощных устройств в вещательных полосах частот; 2006 г.
5. FCC-08-260 - Второй Отчет – Безлицензионное использование телевизионных полос частот. Одобрены правила использования устройств в местах, где спектр не используется лицензируемыми устройствами; 2008 г.
6. FCC-10-174 - Второе предложение о регулировании – Работа безлицензионных устройств в телевизионных полосах частот. Приняты поправки к правилам использования нелицензируемых передатчиков в полосах телевидительной службы; 2010 г.
7. FCC 12-36 – Третий отчет – Безлицензионное использование телевизионных полос частот. Главным образом поправки коснулись использования нелицензируемых передатчиков в сельской местности. Так же рассматривались вопросы защиты беспроводных сервисов расположенных на частоте 52 ТВк, создания новой категории фиксированных устройств работающих в полосе телевидения внутри помещений и вопросы конфиденциальности информации в ТВ полосе частот.

В результате проведения лабораторных и натурных испытаний когнитивных устройств FCC выработала требования к этим устройствам как по техническим параметрам, таким как – мощность излучения, диапазон частот, условия обеспечения ЭМС, так и по параметрам контроля занятости спектра. Кроме того результаты испытаний показали проблематичность

обеспечения ЭМС устройствами, использующими только технологию Spectrum sensing.

В FCC-10-174 была исключена необходимость проверки свободности спектра устройствами использующими базу данных защищаемых РЭС. Так же для упрощения мер обеспечения совместимости для радиомикрофонов было определено 2 частотных канала. Если этих каналов недостаточно, то нелицензируемые радиомикрофоны должны быть зарегистрированы в базе данных защищаемых РЭС для получения защиты аналогичной лицензируемым.

Для нелицензируемого использования в соответствии с отчетами FCC доступны 4 полосы частот (54-72 МГц, 76-88 МГц, 174-216 МГц, и 470-698 МГц). Определено два класса устройств – фиксированные нелицензируемые и портативные/персональные нелицензируемые устройства. Фиксированные нелицензируемые устройства должны использовать принцип геолокации и базу данных для определения свободных ТВ каналов в месте установки и перепроверять свободность спектра один раз в сутки. Мощность фиксированных устройств не должна превышать величину в один ватт, а коэффициент усиления должен быть не более 6 дБи. Портативные нелицензируемые устройства могут функционировать в режимах “Mode I” и “Mode II”. В режиме “Mode II” нелицензируемые портативные устройства должны иметь те же возможности по соединению с базой данных с проверкой свободности каналов, что и фиксированные устройства. В режиме “Mode I” устройствам не нужно хранить и синхронизировать базу данных, но требуется получать список доступных каналов от устройств, работающих в режиме “Mode II”. Персональные/портативные устройства могут работать с эффективной излучаемой мощностью до 100 мВт в случае, если частота их работы не является соседней с телевизионным каналом, в котором осуществляется работа лицензируемого РЭС. В случае если полоса частот работы когнитивного устройства соседняя относительно канала, в котором осуществляется ТВ вещание, то максимальная эффективная излучаемая мощность не должна превышать величину в 40 мВт.

Таким образом, регламентированные типы устройств позволяют реализовать различные схемы применения «белых пятен» - системы оповещения, системы беспроводного широкополосного доступа, системы мониторинга. При этом устройства типа «Mode I» или фиксированные могут служить своеобразным узлом сети или базовой станцией, а устройство типа «Mode II» может служить в качестве абонентского терминала. Так же подобный подход позволяет реализовывать сенсорные сети, например - для мониторинга дорожного трафика или качества воды. На сегодняшний момент существует несколько подобных проектов. Например, проект «Умный город» организованный местными властями в г. Уилмингтон, Северная Каролина. Далее будут рассмотрены некоторые технические характеристики когнитивных устройств.

1.2. Технические характеристики когнитивных устройств, установленные FCC

Одним из важных параметров регламентированных FCC является высота подвеса антенны над уровнем земли (AGL – above ground level). Т.к. с увеличением высоты подвеса расширяется зона прямой видимости и, как следствие, вероятность причинения помех от когнитивных устройств. Так же всегда существует вероятность того, что когнитивное устройство будет находиться на возвышенности, что так же увеличивает вероятность причинения помех когнитивными устройствами. Поэтому FCC было принято решение ввести еще один параметр – высота передатчика над средним уровнем земли в окружающей области (НААТ - height above average terrain). Максимальное установленное значение НААТ было принято равным 76 м. Максимальная высота подвеса антенны, относительно средней высоты земли окружающей области может составлять величину до 108 м.

В ответ на это, различные ассоциации провайдеров беспроводной связи и производители оборудования подали петиции о смягчении требований к НААТ и AGL для горных и плохо покрытых телевизионным вещанием географических областей. Подобные петиции связаны с тем, что один из вариантов применения когнитивных технологий относится к обеспечению беспроводным широкополосным доступом труднодоступных регионов, в том числе в горной местности. В результате дополнительных исследований, максимальные значения величин НААТ были увеличены до 220 м а AGL до 75м. При этом было установлено правило о том, что высота подвеса антенны не должна превышать величину в 250 м над средним уровнем земли в окружающей области.

В связи с тем, что высота подвеса антенны над средним уровнем земли влияет на уровень причиняемых когнитивным устройством помех, то FCC установила таблицу зависимости высоты антенн от расстояния разнесения когнитивных устройств и TV передатчиков (Таблица 1). Для расстояний более 15 км использовались кривые F(50,10), для расстояний менее 15 км и более 1.5 км F(50,50), для расстояний менее 1.5 км не было представлено кривых распространения, поэтому было рекомендовано использовать модели типа TM-91-1.

Таблица 1

Зависимость расстояния разнесения ТВ передатчика и когнитивного устройства от высоты подвеса антенны

Высота антенны над средним уровнем земли в окружающей области	Требуемое расстояние разнесения когнитивного устройства от зоны обслуживания ТВ станции	
	Совмещенный канал (км)	Соседний канал (км)
Меньше 3 м	4.0	0.4
От 3-х до 10м	7.3	0.7
От 10-и до 30м	11.1	1.2
От 30 до 50	14.3	1.8
От 50 до 75	18.0	2.0
От 75 до 100	21.1	2.1
От 100 до 150	25.3	2.2
От 150м до 200м	28.5	2.3
От 200м до 250м	31.2	2.4

Значения в таблице 1 были получены при учете, что ЭИМ составляет величину 4 Вт. Защитное отношение по совмещенному каналу составляет величину в 23 дБ, а по соседнему -33 дБ. Так же для оценки минимального расстояния разнесения использовалось понятие развязки по углу прихода помехи. Подобные значения получили не сразу. При этом было допущено упрощение, которое говорит о том, что развязка по углу прихода помехи всегда максимальная. Т.к. телевизионная антенна является направленной в вертикальной и горизонтальной плоскости излучения и её максимуму соответствует направление на телевещательную станцию, то наименее чувствительная область диаграммы направленности будет ориентирована по направлению к помехе, ослабляя мешающий сигнал на величину в 14 дБ. Подобное упрощение позволило уменьшить минимальное расстояние разнесения фиксированных когнитивных устройств от телевещательной станции.

Для портативных когнитивных устройств, работающих в режиме “Mode I” предусмотрено ограничение по высоте устройств, от которых они могут получать информацию о доступности каналов. Параметр НААТ для таких фиксированных когнитивных устройств или подвижных работающих в режиме “Mobile II” составляет величину не более 106 м. Между FCC и группой организаций подающих петиции («Joint Petitioners») на изменение правил регулирования происходили конфликты как в области определения НААТ, так и в области определения минимального расстояния разнесения

когнитивных устройств от границы зоны обслуживания телевещательной станции. В некоторых случаях они были удовлетворены (увеличение НААТ), а в некоторых наоборот. Например, Joint Petitioners предлагали учитывать развязку по поляризации в 3дБ. Эта петиция была отклонена в виду того, что когнитивные устройства могут использовать как вертикальную/горизонтальную, так и смешанную поляризацию.

1.3. Нормирование уровней внеполосных излучений

Одним из регламентируемых параметров, на основе которого производится оценка ЭМС, является уровень внеполосного излучения. Для излучения, попадающего в соседний ТВ канал по отношению к каналу на котором работает устройство, уровень должен быть хотя бы на 55 дБ ниже, чем максимально допустимый уровень излучения в канале работы устройства с учетом внутриполосного и внеполосного излучения, которое измеряется в полосе 100 кГц. Критерии говорят о том, что уровень напряженности поля, измеряемый на расстоянии три метра, не должен быть больше 100 мкВ/м для диапазона 30-88 МГц, 150 мкВ/м для диапазона 88-216 МГц, 200 мкВ/м для диапазоне 216-960 МГц и 500 мкВ/м для частот выше 960 МГц.

Измерения внеполосного излучения должны производиться относительно полосы 6 МГц по сравнению со 100 кГц в предыдущем варианте. Поэтому были пересмотрены необходимые уровни ослабления для канала, примыкающего к рабочему. Вместо 55 дБ эта величина стала равной 72.8 дБ. Данные изменения были произведены в виду того, что оценка спектральной плотности мощности для канала в 100 кГц и 6 МГц будет разной, т.к. мощность сигнала неравномерно распределена по полосе частот.

В последствии Joint Petitioners, Motorola, и Wi-Fi Alliance подали петицию, направленную на смягчение требований к внеполосному излучению на 25дБ для частот ± 3 МГц от границ рабочего канала при условии увеличения минимального расстояния разнесения для обеспечения потерь на распространение в 25 дБ. Таким образом, будет образован новый класс фиксированных устройств с увеличенным минимальным расстоянием разнесения от границы зоны обслуживания лицензированных ТВ станций и более мягкой спектральной маской. Также, Wi-Fi Alliance вносил предложения об адаптации требований по внеполосному излучению для устройств с эффективной изотропно излучаемой мощностью в 100 мВт и менее. По их мнению, предел мощности излучения в соседний канал должен быть равен (-28.8 дБм)/100 кГц. В итоге FCC было принято решение установить предел мощности излучения в соседний канал (для фиксированных устройств) равным (-72.8 дБ) в полосе 100 кГц относительно мощности излучения в рабочем канале для полосы 6 МГц. Также были установлены фиксированные значения максимально допустимой мощности для различных типов устройств. В таблице 2 приведены зависимости уровня внеполосного излучения от типа устройства, работающего в «белых пятнах».

Таблица 2. Допустимые уровни внеполосного излучения в зависимости от типа когнитивного устройства

Тип когнитивного устройства	Предел спектральной плотности мощности (6МГц)	Предел спектральной плотности мощности (100 кГц)	Соседний канал (100 кГц)
Фиксированное	30 дБм (1 Вт)	12.6 дБм	-42.8 дБм
Портативное (соседний канал)	16 дБм (40 мВт)	-1.4 дБм	-56.8 дБм
Только сенсинг	17 дБм (50 мВт)	-0.4 дБм	-55.8 дБм
Все остальные портативные	20 дБм (100 мВт)	2.6 дБм	-52.8 дБм

1.4. Типы когнитивных устройств

ФСС было определено два типа устройств – фиксированные и портативные/персональные.

Фиксированные устройства могут работать при условии, что эффективная изотропно излучаемая мощность не превышает 4 Вт. Также подобное устройство должно иметь GPS-приемник для определения географических координат или эти координаты нужно вручную вычислить при установке. Портативные/персональные устройства типа «Mode II» могут работать при уровне эффективной изотропно излучаемой мощности до 100 мВт и должны обладать функцией GPS для определения местоположения с точностью +-50 м. Фиксированные и портативные устройства должны иметь доступ к базе данных для определения доступных каналов. Портативное устройство типа «Mode II» должно иметь возможность перепроверять наличие свободности каналов на протяжении работы с определенной частотой. Для устройств типа «Mode I» нет необходимости обладать связью с базой данных и иметь GPS-приемник. Устройство типа «Mode I» получает список свободных каналов, соединяясь с когнитивным устройством типа «Mode II» или фиксированным когнитивным устройством. Портативные устройства являются устройствами типа «Mode II», если они имеют прямое соединение с базой данных или являются устройствами типа «Mode I», если такой возможности нет. Для фиксированных устройств не предусмотрена возможность работы на соседних ТВ каналах к занятым ТВ каналам, в отличие от портативных когнитивных устройств, которые могут работать на соседних ТВ каналах при условии, что эффективная изотропно излучаемая мощность не превышает величину в 40 мВт.

Существуют некоторые особенности взаимодействия устройств различного типа с базой данных. Так, устройство типа «Mode II» должно

обновлять информацию о наличии свободного спектра раз в 60 секунд, также FCC внесло дополнительную поправку – когнитивное устройство типа «Mode II» должно производить дополнительный запрос в случае, если когнитивное устройство переместилось на расстояние более 100м от места последнего запроса в базу данных. Подобная ситуация достаточно характерна, если рассматривать применение системы когнитивного радио для обеспечения локального беспроводного доступа, когда одно из устройств представляет собой стационарный узел (базовая станция), в роли которого может выступать когнитивное устройство фиксированного типа или когнитивное устройство типа «Mode I», а другое устройство – абонентский терминал или устройство типа «Mode II».

В соответствии с петицией, которая была подана организацией Wi-Fi Alliance, было принято решения образовать новый класс фиксированных устройств, которые смогут работать в соседнем ТВ канале по отношению к занятому ТВ каналу. При этом эти устройства должны иметь достаточно точную информацию о местоположении для исключения возможности причинения помех, но с помощью ручного ввода координат установки, т.к. обеспечить корректное определение местоположения, если когнитивное устройство будет работать внутри помещения, будет довольно трудно. Большинство пользователей именно таким образом будут использовать устройства типа «Mode II». Таким образом, получается гибрид портативного когнитивного устройства типа «Mode II» и фиксированного, которое может работать в соседнем ТВ канале по отношению к занятому ТВ каналу и при этом для определения точного местоположения не требуется применение GPS, а достаточно будет ввести координаты местоположения вручную.

1.5. Реализация геолокационной базы данных

Для упрощения взаимодействия пользователей и базы данных FCC приняла решение, сделать всю информацию относительно устройств, работающих в ТВ полосе частот, и местоположения некоторых других РЭС, публично доступной. В процессе эксплуатации базы данных могут возникнуть ошибки при формировании запросов или в результате некорректной передачи данных, поэтому FCC постановила, что публичной огласке также подлежит информация о регистрации защищаемых РЭС для наискорейшего определения и исправления ошибок в базе данных. Но в результате петиций NCTA FCC приняло решение, что необходимо предоставить публичной огласке только информацию о местонахождении ТВ станций, а остальную информацию оставить закрытой. С возможностью операторов других служб внести в базу данных информацию о местоположении и параметрах их РЭС, также операторы базы данных должны обеспечить коллективный доступ к этой информации.

Для геолокационной базы данных FCC характерны следующие особенности:

- 1) база данных содержит информацию обо всех лицензированных пользователях спектра;
- 2) возможно использование нескольких баз данных;
- 3) несколько провайдеров предлагают свои услуги на конкурентной основе;
- 4) когнитивные устройства должны получать одинаковую информацию о запрашиваемых каналах, независимо от того к какой базе данных они обратились;
- 5) информация о лицензированных пользователях поступает в базу данных;

В январе 2011 года регулятор издал распоряжение о назначении операторов геолокационной базы данных. В распоряжении были упомянуты девять организаций (Comsearch, Frequency Finder Inc., Google Inc., KB Enterprises LLC и LS Telcom, Key Bridge Global LLC, Neustar Inc., Spectrum Bridge Inc., Telcordia Technologies и WSdb LLC). Эти организации должны были нести ответственность за разработку предложений по организации базы данных и определению свободных каналов. Далее будет рассмотрено предложение по созданию базы данных, которое было предоставлено компанией Google.

Компанией Google было внесено предложение, взять на себя все основные функции по созданию геолокационной базы данных, включая хранение данных, регистрацию, а также определение доступных каналов. Ниже представлена архитектура базы данных, предложенная Google.

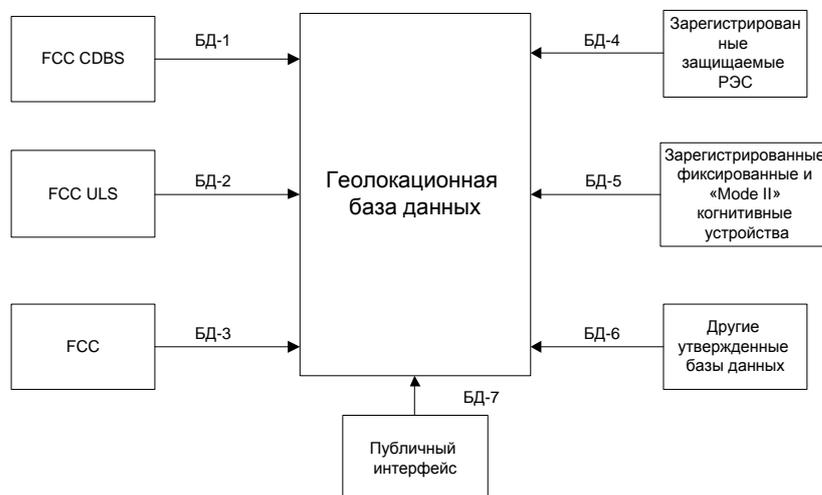


Рисунок 1 - Архитектура базы данных согласно предложению Google

Хранение и функции регистрации.

В соответствии с требованиями регулятора FCC, предложенная геолокационная база данных должна содержать три основных категории информации:

- 1) Информация о защищаемых устройствах, записанных в базу данных FCC.
- 2) Информация об устройствах, не записанных в базу данных FCC, но при регистрации имеющих право на защиту.
- 3) Информация об идентификации и местоположении зарегистрированных фиксированных когнитивных устройствах и устройств типа «Mode II».

В частности, информация, хранящаяся в геолокационной базе данных, будет включать в себя:

- защищаемые местоположения и каналы устройств, записанные в «Согласованной базе данных комиссии» (Commission's Consolidated Database System (CDBS)) и «Всеобщей системе лицензирования» (Universal Licensing System (ULS)). Перечень этих устройств ограничен цифровыми телевизионными станциями, цифровыми и аналоговыми радиостанциями класса А, маломощными станциями, частными наземными подвижными радиостанциями, коммерческими мобильными радиостанциями (Commercial mobile radio stations (CMRS)), прибрежные морские радиотелефонные станции (offshore radio stations (ORS)). Данная информация может быть получена через определенные БД: БД-1 (для CDBS) и БД-2 (для ULS), как показано на рисунке 1.
- местоположения и каналы устройств, не записанных в базах данных CDBS и ULS, но имеющие право на защиту. База данных для этих устройств показана как БД-4 на рисунке 4.3. Такие защищаемые устройства определяются станциями кабельного телевидения, телевизионными ретрансляторами, лицензированными беспроводными микрофонами и другими маломощными вспомогательными станциями.
- информация о местоположении, идентификационные данные (FCC ID, серийный номер), информация о владельце/ответственном лице когнитивных устройств, хранится в БД-5
- база данных будет обладать тремя интерфейсами взаимодействия с регулятором FCC. БД-1 и БД-2 напрямую подсоединяются к базам CDBS и ULS соответственно. Google будет загружать базу CDBS (которую FCC обновляет каждую неделю) и ULS (которую FCC обновляет ежедневно) и также скачивать любые другие изменения в них еженедельно. БД-3 предназначена для связи между FCC и администратором БД, включающая уведомления от FCC для ответа, когда произведен запрос определенного FCC ID или серийного номера, что каналы не доступны. Каждая из баз БД-1, БД-2 и БД-3 будет использовать набор протоколов для обеспечения защиты данных, передаваемых по межсетевому протоколу IP (IP Security).

Когда защищаемые объекты, устройство типа «Mode II» или фиксированные когнитивные устройства регистрируются в базе данных, БД производит запрос регистрации, чтобы внести всю необходимую

информацию о местоположении и контактные данные, с использованием применяемого интерфейса.

Функция запроса

Основной функцией базы данных является предоставление списка доступных каналов для работы зарегистрированных устройств. В результате запроса от фиксированного когнитивного устройства или устройства типа «Mode II» (через БД-5) БД устанавливает, какое из устройств зарегистрировано, а затем определит доступные каналы, учитывая местоположение устройств. При ответе БД сообщит список доступных каналов и допустимые уровни мощности для когнитивных устройств. Защищаемая область для телевизионных станций рассчитывается с использованием параметров телевизионных передатчиков, которые хранятся в CDBS.

Синхронизация с другими базами данных

В случае, когда работает сразу несколько операторов базы данных, Google , взаимодействует с ними, чтобы синхронизировать актуальные данные между различными базами. Это следующие данные: информация о зарегистрированных станциях кабельного телевидения, телевизионных ретрансляторах, действующих местоположениях беспроводных микрофонов, других маломощных станций и фиксированных когнитивных устройств. Процесс синхронизации будет осуществляться через общий интерфейс. Google взаимодействует со всеми операторами базы данных, чтобы предоставлять наиболее эффективное решение для синхронизации между ними. Необходимо, чтобы все операторы имели общий интерфейс прикладного программирования (API) для синхронизации между собой, до того как объекты будут зарегистрированы и начнут свою работу. Комиссия при этом оставляет за собой право проверки каждого оператора базы данных, для того чтобы контролировать обеспечение минимального набора функций для обслуживания клиентов.

Интерфейс общего доступа

Основной задачей Google является предоставление доступа к публичной информации через БД-7. Общедоступность информации в БД-7 позволит ускорить внедрение когнитивных систем. Любые физические и юридические лица смогут получить доступ к данным. Таким образом, общедоступный интерфейс не повлияет на регистрацию и функции запроса в БД, а будет дополнять открытый и прозрачный характер процесса доступа к нелицензируемому спектру радиочастот.

Меры безопасности и защита БД от несанкционированного доступа

Основной задачей при проектировании системы безопасности базы данных является гарантия того, что при запросе от когнитивного устройства

ему будет предоставлена точная информация от лицензированной базы данных, при этом сообщение в процессе передачи не будет изменено. Система безопасности для БД сосредоточена на интернет-интерфейсах через которые устройства связываются с геолокационной базой данных, они показаны на рисунке 4.3 через БД-4 и БД-5. Защита информации на прикладном уровне осуществляется с помощью использования протокола HTTPS.

Инфраструктура генерации открытых ключей

Схема инфраструктуры открытых ключей будет использоваться для аутентификации устройства в базе данных. Это та же технология шифрования с открытым ключом, которая часто применяется в интернете для осуществления всех типов операций, включая финансовые. БД предоставляет устройству подписанный сертификат от известного сертификационного центра. А когнитивное устройство использует этот сертификат для своей идентификации в БД.

Практическая реализация БД

Пример реализации карты покрытия в базе данных Google отображен на рисунке 2. Любой пользователь может обратиться к такой базе данных, с целью проверить возможность работы когнитивного устройства в предполагаемом месте установки.

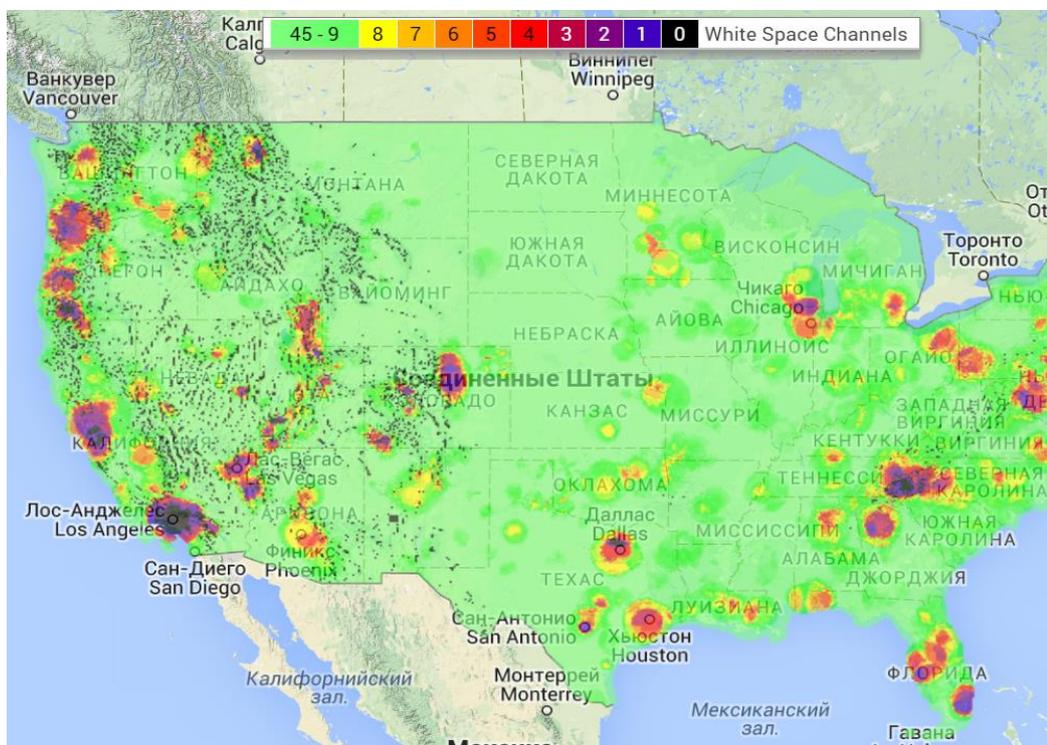


Рисунок 2 - Число свободных каналов в полосе телевидения в США

На рисунке 2 достаточно хорошо видно, что на большей части территории США число свободных каналов больше или равно 9. Тем не менее, стоит отметить, что в крупных городах число свободных каналов существенно ниже, а иногда их число равно нулю. Примеры подобных случаев приведены на рисунках 3 и 4 соответственно.

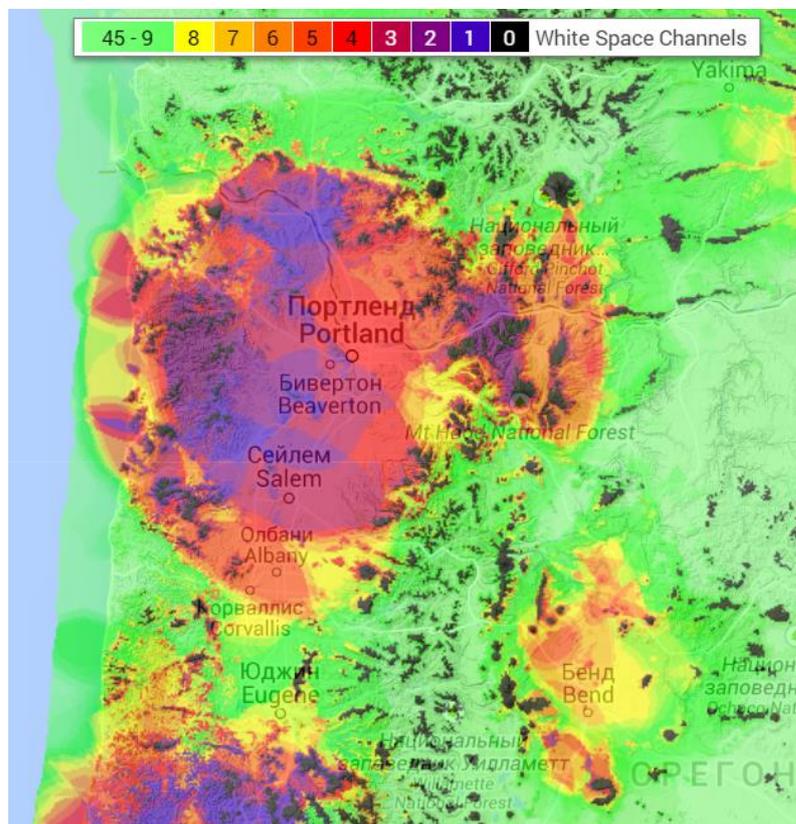


Рисунок 3 - Число свободных каналов в полосе ТВ для Портленда, США

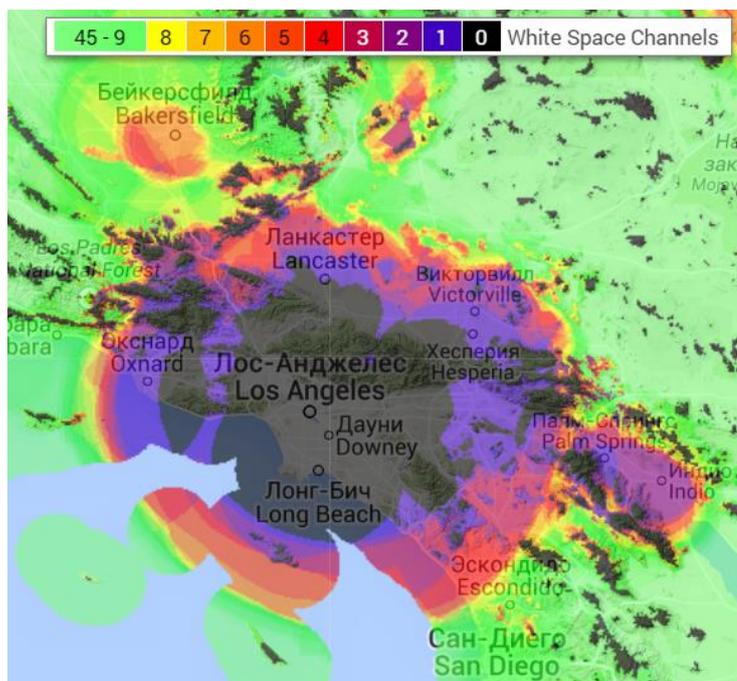


Рисунок 4 - Число свободных каналов в полосе ТВ для Лос-Анджелеса, США

1.6. Пилотные проекты сетей когнитивного радио в США

В США реализован целый ряд пилотных проектов с использованием технологии когнитивного радио.

Делавэр - использование «белых пятен» для государственной библиотеки

Университет Дэлавера разработал проект по определению возможности предоставления услуг доступа в интернет в государственных библиотеках в диапазоне «белых пятен» по средствам Wi-Fi.

Калифорния – проект - super Wi-Fi

Государственная библиотека в Хамбольде, штат Калифорния, была выбрана для реализации проекта под названием «Super Wi-Fi». Целью проекта «Super Wi-Fi» является обеспечение надежного интернет соединения в местах общего пользования – библиотеках, парках, вокзалах и в других подобных местах.

Проект Университета Западной Вирджинии

Университет Западной Вирджинии в июле 2013 года стал первым университетом в США, который воспользовался «белыми пятнами» для обеспечения широкополосного доступа к Интернету на территории университетского городка и близлежащей территории. Проект выполнялся при поддержке консорциума Advanced Internet Regions. Другой целью этого проекта являлось предоставление широкополосного доступа в сельской местности и небольших городах.

«Умный город»

При поддержке органов местного самоуправления в городе Уилмингтон, Северная Каролина, была построена сеть «умный город». Этот проект направлен на создание систем для мониторинга за дорожным движением с помощью беспроводных камер наблюдения, для мониторинга качества воды в районах с болотистой местностью и для предоставления доступа к интернету по средствам Wi-Fi в городских парках. В будущем планируется расширить функции проекта «умный город», добавив услуги «электронного здравоохранения» и предоставив ШПД в местных школах.

1.7. Результаты внедрения сетей когнитивного радио в США

В США было проведено значительное число работ по регулированию правил использования нелицензируемого оборудования, работающего в полосе «белых пятен». В результате, были регламентированы принципы использования систем когнитивного радио: (геолокация и в ряде случаев зондирование спектра), предельно допустимые параметры когнитивных устройств, нормы внеполосного излучения, типы оборудования, их характерные особенности, принципы защиты лицензируемых устройств, вопросы конфиденциальности информации, хранящейся в базе данных «белых пятен» и процедуры взаимодействия когнитивных устройств. Сформирован перечень организаций отвечающих за создание геолокационной базы данных, часть которых уже закончили их формирование. Тем не менее, по каждому из вопросов проводилась активная дискуссия, и принятие решений производилось на основе существенного числа петиций на пересмотр регуляторных правил. Многие из петиций остались не удовлетворёнными, что связано с достаточно жесткими правилами регулирования. Это позволяет говорить о том, что процесс формирования конечного свода правил и норм в США еще не закончен. Для этого FCC проводит регулярные встречи, производятся тестовые измерения, постоянно дорабатываются отдельные нормы и вводятся новые типы когнитивных устройств, которые соответствует определенным вариантам их применения. Как показывает практика, применение когнитивного радио в «белых пятнах» является перспективной технологией для предоставления ШПД в плохо обслуживаемых и труднодоступных регионах, но жесткие регуляторные условия замедляют проникновение технологий когнитивного радио в США.

Необходимо отметить, что отсутствие гарантий предоставления спектра и малое число доступных каналов в наиболее развитых районах и крупных городах на практике сильно ограничивают практическое внедрение технологий когнитивного радио в США. Поэтому все проекты носят локальный характер и на данный момент эта технология не получила широкого распространения.

2. Опыт внедрения когнитивного радио в Сингапуре

В Сингапуре разработана нормативно-правовая база для использования когнитивного радио в «белых пятнах». Для работы нелицензируемых устройств в настоящее время доступны следующие полосы частот (Таблица 3).

Таблица 3
Полосы частот доступные для нелицензионного использования в Сингапуре на данный момент

Каналы	Общее число каналов	Полоса частот
1) 181 – 188 МГц (Канал 6) 2) 209 – 223 МГц (Канал 10 и 11) 3) 502 – 518 МГц (Канал 25 и 26) 4) 614 – 622 МГц (Канал 39) 5) 630 – 710 МГц (Канал 41 до 50) 6) 718 – 742 МГц (Канал 52, 53 и 54) 7) 750 – 774 МГц (Канал 56) , 57 и 58) 8) 790 - 806MHz (Канал 61 и 62)	3 ОВЧ каналов; и 21 УВЧ каналов	189 МГц

После отключения аналогового телевидения в 2020 году часть доступного спектра будет отдана для использования системам ИМТ. Поэтому число полос частот для работы когнитивного радио будет сокращено.

В качестве регулятора работы когнитивных устройств в полосе «белых пятен» в Сингапуре выступает IDA. Согласно регуляторным правилам для доступа к «белым пятнам» должен быть применен принцип геолокационной базы данных – как основной. Поскольку принцип зондирования спектра не до конца регламентирован, то его использование не рекомендуется. При этом IDA будет поддерживать исследования в направлении использования принципа зондирования спектра. В связи с этим планируются несколько пилотных проектов взаимодействию машина-машина (machine to machine) в приграничных зонах с использованием принципа зондирования спектра. Подобное необходимо, т.к. принцип геолокации требует доступа к базе данных, содержащей в себе информацию о наличии доступных каналов в данной области, а в приграничной зоне должны быть учтены так же и защищаемые службы сопредельной стороны, что иногда является проблематичным. Поэтому использование в приграничных зонах

когнитивных устройств, работающих по принципу зондирования спектра – один из наиболее удобных вариантов.

Также IDA регламентировало расстояние, на которое должно быть отнесено когнитивное устройство, относительно границы страны. Это расстояние определяется исходя из условия, что уровень поля, создаваемый когнитивным устройством не должен быть выше уровня шума, т.е. -115 дБм. Одной из особенностей регуляторной политики IDA является возможность предоставления двух ТВ каналов в диапазоне «белых пятен» в приоритетном порядке. При этом оператор базы данных предоставляет эти каналы на коммерческой основе для обеспечения работы сетей, которые должны функционировать при повышенном уровне надежности соединения. Использование приоритетных каналов возможно, только после того как доступный ресурс неприоритетного спектра частот будет исчерпан.

Параметры взаимодействия когнитивных устройств, их типы и технические характеристики, соответствуют таковым в нормативных документах FCC (за некоторыми исключениями). Далее будут приведены основные технические характеристики когнитивных устройств.

2.1. Основные технические характеристики когнитивных устройств регламентированных IDA

В таблице 4 приведены основные типы устройств и их ключевые технические характеристики:

Таблица 4 Основные типы когнитивных устройств регламентированных IDA

	Фиксированное	Портативное (Mode I)	Портативное (Mode II)
Способность производить запросы в базу данных	Есть	нет	Есть
Максимальный уровень мощности	4 Вт	100 мВт	100 мВт

Перечисленные в таблице 4 технические характеристики практически полностью совпадают с техническими характеристиками, описанными в регуляторных документах FCC. Но в случае фиксированного когнитивного устройства, FCC регламентирует мощность передатчика и коэффициент усиления антенны. В случае IDA регламентируется величина ЭИИМ, т.е.

мощность передатчика и коэффициент усиления антенны могут варьироваться. Например, можно предложить комбинацию – мощность передатчика 2 Вт и коэффициент усиления антенны 2.14 дБи. При этом выходная мощность передатчика является мощностью излучения во всей полосе радиочастотного канала (для ОВЧ – 7 МГц, для УВЧ – 8 МГц).

В соответствии с требованием IDA регламентируется только высота подвеса антенны над уровнем земли. В отличие от параметров высоты подвеса антенны, которые регламентированы FCC. В FCC, например, нормируется не только высота над уровнем земли, но и так же средняя высота подвеса антенны когнитивного устройства над уровнем некоторой области, для того, чтобы избежать случаев, в которых когнитивное устройство располагается на возвышенности, таким образом, увеличивая вероятность нарушения условий электромагнитной совместимости.

Согласно IDA уровни излучения в соседнем канале определяются с шагом 100 кГц и использованием детектора среднего значения спектральной плотности мощности. Меньший шаг детектирования может быть применен вблизи границы полосы. При этом ЭИИМ в соседнем канале не должен превышать величину -56.8 дБм.

2.2. Пилотные проекты в Сингапуре

Пилотный проект в Национальном университете Сингапура

Institute for Infocomm Research и Power Automation разработали коммерческий проект по использованию белых пятен для регулирования работы воздушных кондиционеров, расположенных в общежитии национального университета Сингапура.

В морском порту Сингапура останавливается большое число морских судов. Они могут останавливаться на довольно длительный промежуток времени. Все это время экипаж пользуется спутниковой связью для доступа к электронной почте. Спутниковая связь сильно зависит от погодных условий, поэтому случаются частые перебои. Поэтому использование когнитивного радио, работающего в «белых пятнах», стало отличной альтернативой.

2.3. Основные результаты внедрения систем когнитивного радио

Опыт внедрения системы когнитивного радио в Сингапуре показывает, что принципы, заложенные FCC необходимо дорабатывать под конкретную территорию. Так, например, в условиях Сингапура достаточно определять высоту подвеса антенны относительно земли, а в США требуется определять не только высоту относительно земной поверхности, но и среднюю высоту окружающей области. Т.е. потребуются дополнительная операция, которая будет увеличивать время регистрации устройства. В условиях Сингапура необходимость в этой операции отпадает. Так же для создания условий существования услуг на основе когнитивного радио, требующих хотя бы минимальные гарантии стабильности соединения, в Сингапуре

предусмотрено два приоритетных канала связи. Введение когнитивного радио в Сингапуре в телевещательной полосе частот имеет большую перспективу, что доказано результатами проведенных исследований и успешной реализацией пилотных проектов.

3. Опыт внедрения когнитивного радио в Великобритании

3.1. Опыт Ofcom по формированию нормативной базы для внедрения устройств когнитивного радио

На текущий момент в Великобритании регулятор (Ofcom) еще не завершил окончательное формирование нормативной базы для функционирования нелицензируемых устройств в полосе частот телевидения. На основе тестовых версий регуляторных документов создаются некоторые пилотные проекты, которые носят локальный характер. Нелицензируемые устройства могут работать в полосе радиочастот 470 - 790 МГц, при этом когнитивные устройства должны работать на основе принципа геолокации. В качестве организаций, которые участвуют в разработке геолокационной базы данных выступают:

- Fairspectrum
- Google
- iconectiv
- Microsoft Corporation
- NICT
- Nominet UK
- Spectrum Bridge Incorporated
- Sony Europe

Ofcom проводит исследования перспектив внедрения когнитивного радио с 2007 года. В 2011 году Ofcom провела работы, связанные с применением принципа геолокации, в котором изложен основной подход к использованию «белых пятен». Таким образом, нелицензируемые устройства могут использовать «белые пятна», если они работают на определенных частотах и специальных условиях взаимодействия с геолокационной базой данных, определенных Ofcom. Ofcom проведено исследование, результатом которых являлась публикация документа по вопросам формирования требований использования когнитивных устройств (A consultation on white space device requirements). Регулятор дал четкие определения относительно своей роли в процессе формирования новых нелицензируемых полос частот. Ofcom считает своей основной задачей не разработку детальной технической документации, а формирование свода правил или инструментов, которые должны применять пользователи нелицензируемого оборудования для удовлетворения условиям электромагнитной совместимости и не причинения помех лицензируемым устройствам, работающим в той же полосе частот.

Этими инструментами будут служить:

1. Законодательный акт - statutory instrument (SI) - излагаются основные условия использования нелицензируемых устройств

2. Требования к интерфейсу – interface requirement (IR) – техническая формулировка требований к интерфейсу
3. Добровольная национальная спецификация - voluntary national specification (VNS) – показывает, каким образом можно протестировать выполнение регуляторных правил Ofcom по использованию когнитивных устройств и определить категорию функционирующего когнитивного устройства.

Тем не менее, Ofcom отмечает, что этот документ может носить пока лишь консультативный характер и не претендует на полный перечень требований и процедур по взаимодействию когнитивных устройств и базы данных.

Введение когнитивного радио в полосе частот телевидения стало более актуальным после перехода Великобритании на систему цифрового телевидения. Таким образом, часть спектра, в виду большей спектральной эффективности цифровой технологии, была высвобождена (Рисунок 5).

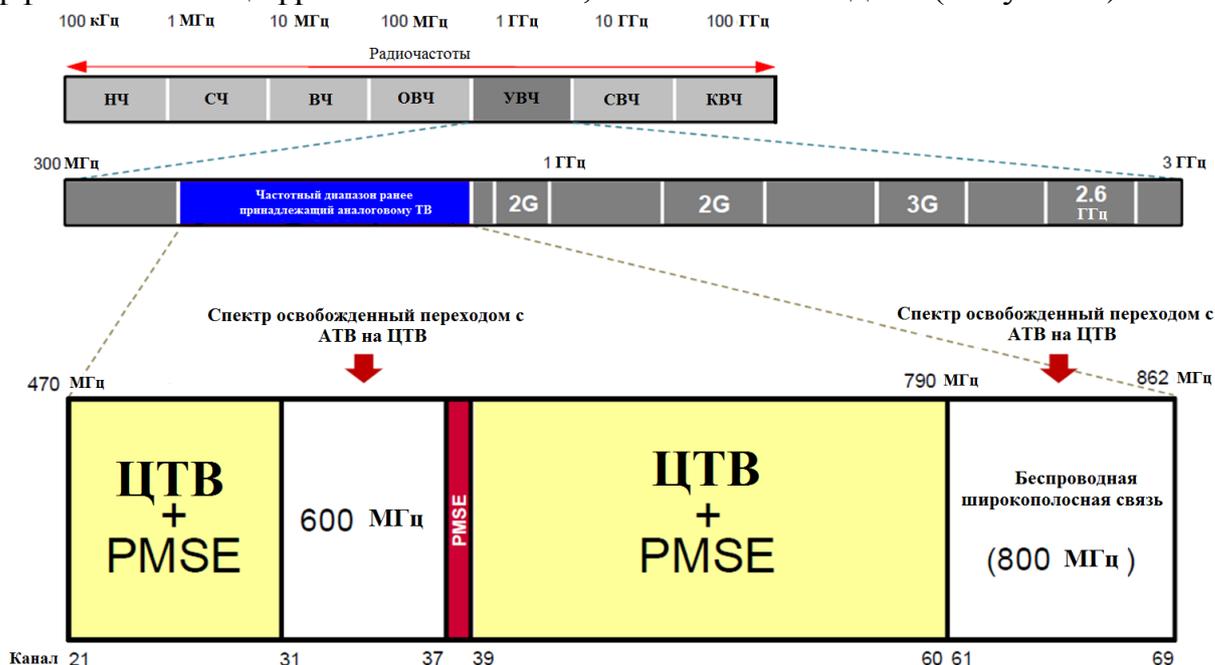


Рисунок 5 - Частотный план Великобритании в полосе УВЧ

В настоящее время в Великобритании работает шесть частотных мультиплексов, каждый из которых занимает полосу в 8 МГц. Всего на территории Великобритании задействовано 32 частотных канала. Таким образом, достаточно существенное число каналов остаются незадействованными в некоторых географических зонах и могут быть использованы менее мощными устройствами, по сравнению со станциями цифрового телевидения (Рисунок 6).

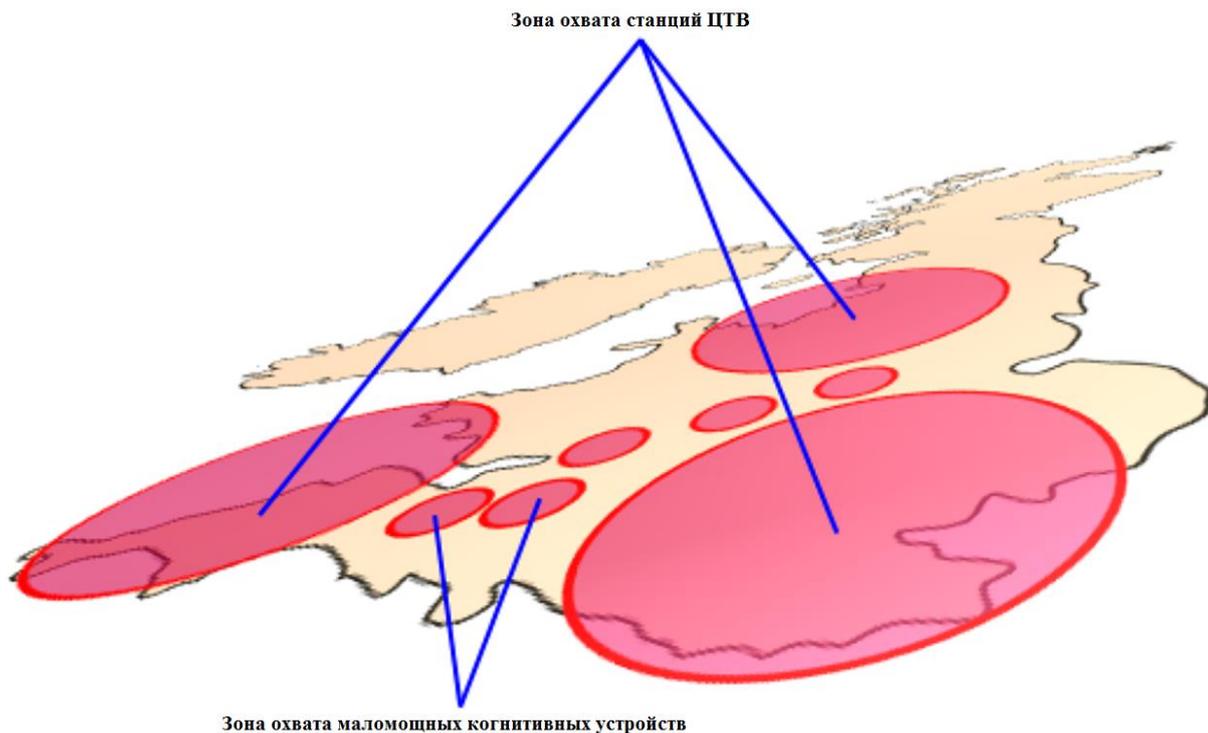


Рисунок 6 - Принцип использования «белых пятен»

Карта доступных каналов ЦТВ, полученная с помощью базы данных Spectrum Brige выглядит следующим образом:

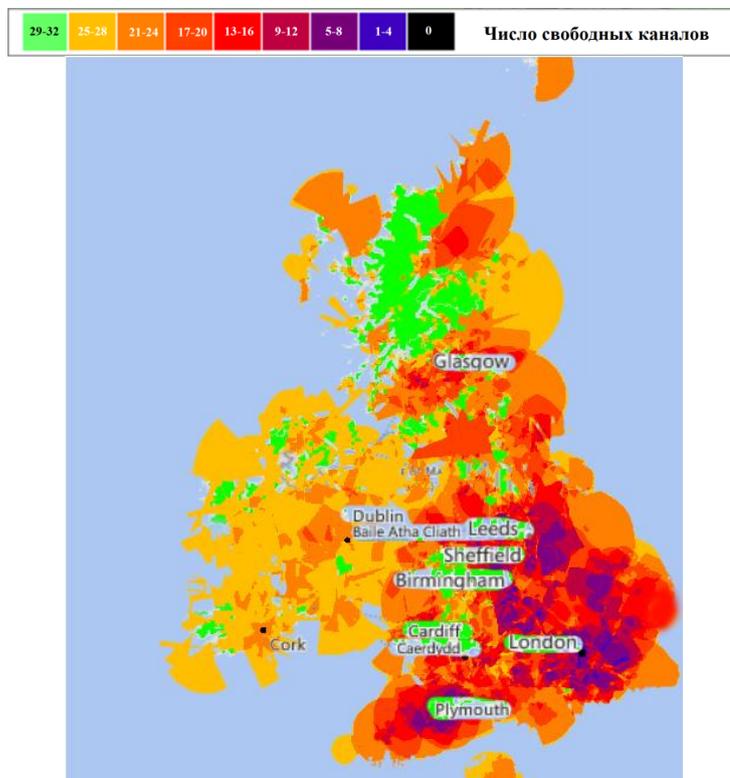


Рисунок 7 Доступность спектра в полосе частот цифрового телевидения

Из рисунка 7 видно, что на территории Великобритании достаточно много свободных каналов, в некоторых случаях их число может достигать 32. В крупных городах наоборот, обычно наблюдается ситуация с отсутствием свободных каналов.

3.2. Технические характеристики когнитивных устройств, установленные Ofcom

Типы когнитивных устройств

В соответствии с правилами Ofcom определены два типа устройств. В зависимости от сценария их развертывания – это тип «А» и тип «В». Согласно определению Ofcom к типу «А» относятся устройства, антенны которых на постоянной основе установлены на внешней (не в помещении) неподвижной платформе. К типу «В» относятся устройства АФУ которых не установлена на постоянной основе, на внешней неподвижной платформе. Устройства типа «В» должны обладать встроенной антенной. Говоря другими словами – тип «А» - это фиксированные устройства с внешней антенной, тип «В» - это портативные/подвижные устройства, функционирующие как вне, так и внутри помещений. В результате тестирования могут появиться дополнительные типы устройств, условия эксплуатации которых соответствуют определенным сценариям использования «белых пятен». Подробно, типы устройств должны быть описаны в VNS.

Классы излучения когнитивных устройств

Ofcom регламентирует классы излучения когнитивных устройств, которые соответствуют определенным типам спектральных масок. Выделены четыре основных типа спектральных масок. Тип спектральной маски должен определяться производителем оборудования. С помощью спектральной маски можно определить уровень спектральной плотности мощности, которая излучается как в полосе, так и вне полосы.

Технология радио доступа

Измерения показывают, что устройства с различными типами формирования сигналов создают различные уровни помех защищаемым РЭС. Даже в том случае, если эти устройства подходят под один и тот же тип спектральной маски излучения. Это объясняется тем, что от типа сигнала зависят так же и корреляционные свойства помехи и полезного принимаемого сигнала, поэтому уровень селективности по отношению к ним будет разный. В связи с этим для каждого устройства должны будут генерироваться свои специфические параметры. Технология формирования сигнала определяется разработчиком.

3.3. Реализация геолокационной базы данных

База данных содержит в себе всю необходимую информацию о когнитивных устройствах. С помощью этой информации база данных

производит необходимые расчеты и сообщает перечень параметров необходимых для удовлетворения условиям электромагнитной совместимости когнитивных устройств и других служб. База данных формируется коммерческими организациями на сайте Ofcom. Основной принцип работы геолокационной базы данных заключается в следующем: когнитивное устройство направляет запрос в базу данных, запрашивая список свободных каналов, и возможный диапазон параметров функционирования. При этом сообщая свои технические характеристики в соответствии с регуляторными правилами. Далее база определяет тип устройства и генерирует для него перечень параметров доступных для использования в данной ситуации. После этого когнитивное устройство выбирает среди перечня наилучший разрешенный вариант и подтверждает выбор, отправляя сообщения в базу данных, которая фиксирует появление нового функционирующего устройства. Т.к. от местоположения когнитивного устройства сильно зависит его способность причинять помехи, то Ofcom нормировала этот параметр. Местоположение когнитивного устройства может варьироваться в диапазоне ± 50 метров от своего последнего местоположения и при этом не потребуется производить процедуру повторной регистрации в геолокационной базе данных. Это связано с тем, что телевещательная сеть обычно планируется, базируясь на расчетной сетке с размерами ячейки 100 на 100 метров. Защищенность соединения между когнитивными устройствами и базой данных обеспечивается за счет применения протокола HTTPS. Далее будут описаны детали взаимодействия геолокационной базы данных и рассмотрены вопросы взаимодействия когнитивных устройств.

3.4. Взаимодействие когнитивных устройств с базой данных

В основе взаимодействия когнитивных устройств с базой данных лежит стандартная последовательность операций взаимодействия между головным и подчиненным когнитивным устройством.

Термины подчиняемое и головное когнитивные устройства появляются, когда одно из когнитивных устройств обменивается информацией с **базой данных** по средствам другого когнитивного устройства. Для обеспечения работы подчиняемого когнитивного устройства необходимо, чтобы оно связалось с головным устройством и получило список свободных каналов, но кроме этого головное когнитивное устройство должно отрегулировать режим работы подчиняемого устройства, например, по средствам предельно допустимой мощности излучения. Укрупненно процедура взаимодействия подчиняемого и головного состоит из следующих фаз:

1. Генерация и сообщение технических характеристик для головного устройства
2. Генерация и сообщение технических характеристик для всех подчиняемых устройств в зоне покрытия головного устройства

3. Осуществление процесса прикрепления определенных подчиняемых когнитивных устройств за определенными головными устройствами. Генерация и сообщение специфических параметров работы для определенных подчиняемых когнитивных устройств. Фазы взаимодействия проиллюстрированы на рисунке 8.



Рисунок 8 - Фазы взаимодействия подчиненного и головного когнитивных устройств

Таким образом, оператору базы данных необходимо не только обеспечить выполнение запросов поступающих от когнитивного устройства, но и проведение необходимых расчетов для генерации перечня параметров, которые соответствовали бы критериям электромагнитной совместимости. Поэтому, довольно важным вопросом является обеспечение минимальной сложности вычислений, которые должен производить оператор геолокационной базы данных. Т.к. запросы в базу данных имеют периодический характер, то в случае большого числа пользователей пиковая нагрузка на вычислительную систему может оказаться чрезвычайно высокой. В результате будет увеличено время установления соединений из-за образования очереди или в худшем случае произойдет сбой в работе оборудования. Поэтому необходимо свести к минимуму число итераций при генерировании перечня технических характеристик.

Не менее важной задачей является рационализация числа фаз обмена между базой данных и когнитивным устройством. Слишком существенное число фаз обмена данными может привести к длительному времени установления соединения, к медленной реакции системы на изменение электромагнитной обстановки. Соответственно, вероятность того, что на основе когнитивного радио удастся построить сеть с гарантированным соединением или скоростью передачи стремительно уменьшается с увеличением числа фаз взаимодействия базы данных и когнитивных устройств.

При организации работы когнитивных устройств в полосе телевидения важно определить правила выбора технических характеристик когнитивных устройств. Под техническими характеристиками понимается – диапазон

разрешенных рабочих частот, мощность передатчика. Далее будут описаны технические характеристики устройств и процедуры взаимодействия когнитивных устройств с базой данных.

Процедура формирования технических характеристик когнитивного устройства с участием базы данных

Любое головное когнитивное устройство для обеспечения своей работы в полосе телевидения должно выполнить следующие шаги:

1. Головное когнитивное устройство должно получить список баз данных с сайта Ofcom.
2. Головное когнитивное устройство должно осуществить процесс соединения с одной из геолокационных баз данных в списке и получить технические характеристики для осуществления процесса передачи. Как часть запроса, головное когнитивное устройство посылает параметры работы своего передатчика и местоположение, высоту антенны.
3. Геолокационная база данных генерирует определенные технические характеристики головного когнитивного устройства, с учетом допустимых параметров. При этом база данных использует параметры, полученные от головного когнитивного устройства (предыдущий пункт), включая информацию о доступности частотного канала.
4. База данных сообщает сгенерированные параметры головного когнитивного устройства
5. Головное когнитивное устройство сообщает геолокационной базе данных рабочие параметры и частотный канал, который будет использован. Головное когнитивное устройство выбирает эти параметры из списка, который был получен от базы данных.
6. Только после выполнения пунктов 1-6 головное когнитивное устройство может начинать процесс передачи

Для обеспечения соединения между головным когнитивным устройством и геолокационной базой данных на этапе, когда технические параметры головного когнитивного устройства еще не установлены и для периодической проверки актуальности установленных технических характеристик требуется наличие отдельного канала передачи данных для связи с геолокационной базой данных. Поэтому необходимым условием работы сети когнитивного радио является наличие других систем передачи данных в предполагаемом месте установки головного когнитивного устройства. Такие системы передачи могут быть использованы в качестве посредника между головным когнитивным устройством и базой данных.

Процесс определения технических характеристик для подчиненных когнитивных устройств выглядит следующим образом:

1. Головное когнитивное устройство должен связаться с геолокационной базой данных и запросить технические характеристики для всех подчиненных когнитивных устройств в его зоне покрытия
2. Геолокационная база данных генерирует технические характеристики для подчиненных когнитивных устройств. При этом используется информация с сайта Ofcom и данные по использованию спектра от головного когнитивного устройства для определения возможности работы подчиненного когнитивного устройства внутри зоны обслуживания головного когнитивного устройства. Затем будут рассчитаны технические характеристики подчиненного когнитивного устройства, которые должны удовлетворять условиям функционирования внутри зоны охвата головного когнитивного устройства.
3. Геолокационная база данных сообщает технические характеристики головного когнитивного устройства.
4. Головное когнитивное устройство должно сообщить технические характеристики всем подчиненным когнитивным устройствам в своей зоне охвата. Переданные параметры соответствуют полному набору каналов идентифицированных с помощью геолокационной базы данных.
5. Параметры подчиненного когнитивного устройства должны быть совместимы с техническими характеристиками, которые были получены от головного устройства.

Регистрация подчиненного устройства в зоне обслуживания головного когнитивного устройства происходит по средствам пилот сигналов, передающихся в разрешенной для головного когнитивного устройства полосе радиочастот. Так же по средствам пилот сигналов передаются технические характеристики подчиненного когнитивного устройства, находящихся в зоне обслуживания головного когнитивного устройства. И только потом происходит процесс формирования уточненных технических характеристик для каждого подчиненного когнитивного устройства по отдельности, но уже по средствам полосы частот, выделенной на основе предварительных технических характеристик подчиненного когнитивного устройства.

Закрепление подчиненного за определенным головным когнитивным устройством происходит следующим образом:

1. Подчиненное когнитивное устройство должно отправить свои технические характеристики головному когнитивному устройству, а также информацию о частотном канале, который будет использован.
2. Подчиненное когнитивное устройство сообщает свои технические характеристики и информацию об используемом канале.

3. Головное когнитивное устройство перенаправляет принятые технические характеристики и рабочую частоту прикрепленного подчиненного когнитивного устройства в базе данных.
4. После этого процедура закрепления будет завершена.

На данном этапе формируется сеть когнитивных устройств. Головное когнитивное устройство является базовой станцией, а абонентскими терминалами – подчиненные когнитивные устройства. В случае если подчиняемому устройству требуется уточнить технические характеристики для улучшения условий работы, предоставления большей полосы пропускания, то предусмотрена еще одна процедура/фаза – уточнение технических характеристик подчиняемого устройства.

3.5. Пилотные проекты в Великобритании

ШПД в труднодоступных регионах

В Шотландии при поддержке Microsoft запущен пилотный проект по заполнению покрытия беспроводной широкополосной связи в плохо обслуживаемой местности на основе «белых пятен». На начальном этапе проекта будут развернуты базовые станции вокруг студенческого городка университета Стартклайд.

Исследование возможностей работы в «белых пятнах»

Проект запущен в июне 2011 г. в Кэмбридже. Целью проекта является исследование возможностей использования «белых пятен» для целей обеспечения связи в сельской местности, городе и так же машинного взаимодействия (“machine-to-machine”). Полученные результаты свидетельствуют об актуальности использования «белых пятен» в сфере беспроводных технологий.

Использование «белых пятен» в районе острова Бьют

В апреле 2011 г. консорциум, образованный 6-ю организациями при поддержке правительства Великобритании запустил проект по организации беспроводного широкополосного доступа на острова Бьют. Ключевой задачей было продемонстрировать эффективность использования «белых пятен» для решения такого рода задач. Длительность проекта составляла 18 месяцев. В течение которых предусматривалось планирование и установка беспроводного доступа к интернету для 8 клиентов. В результате проекту удалось продемонстрировать эффективность использования «белых пятен» в сельской местности. Подробно этот проект будет описан далее.

3.6. Основные результаты пилотного проекта по внедрению когнитивного радио на острове Бьют

В апреле 2011 года консорциум, состоящий из 6 партнеров (Steepest Ascent, BT, BBC Research and Development, Berg Design, Netpropagate

Systems, University of Strathclyde) при поддержке правительства Великобритании, запустил пилотный проект по внедрению системы когнитивного радио в «белых пятнах» телевещательного диапазона. Внедрение проводилось в небольшом поселении на острове Бьют в Шотландии. Ключевой целью проекта было продемонстрировать потенциал использования «белых пятен» для обеспечения широкополосного доступа для труднодоступной сельской местности со сложным рельефом. Длительность проекта составляла 18 месяцев, в течение которых требовалось спланировать и установить беспроводное соединение между базовой станцией и восемью местоположениями, на ряду с обеспечением транспортной сети между базовой станцией и материком (Рисунок 9).

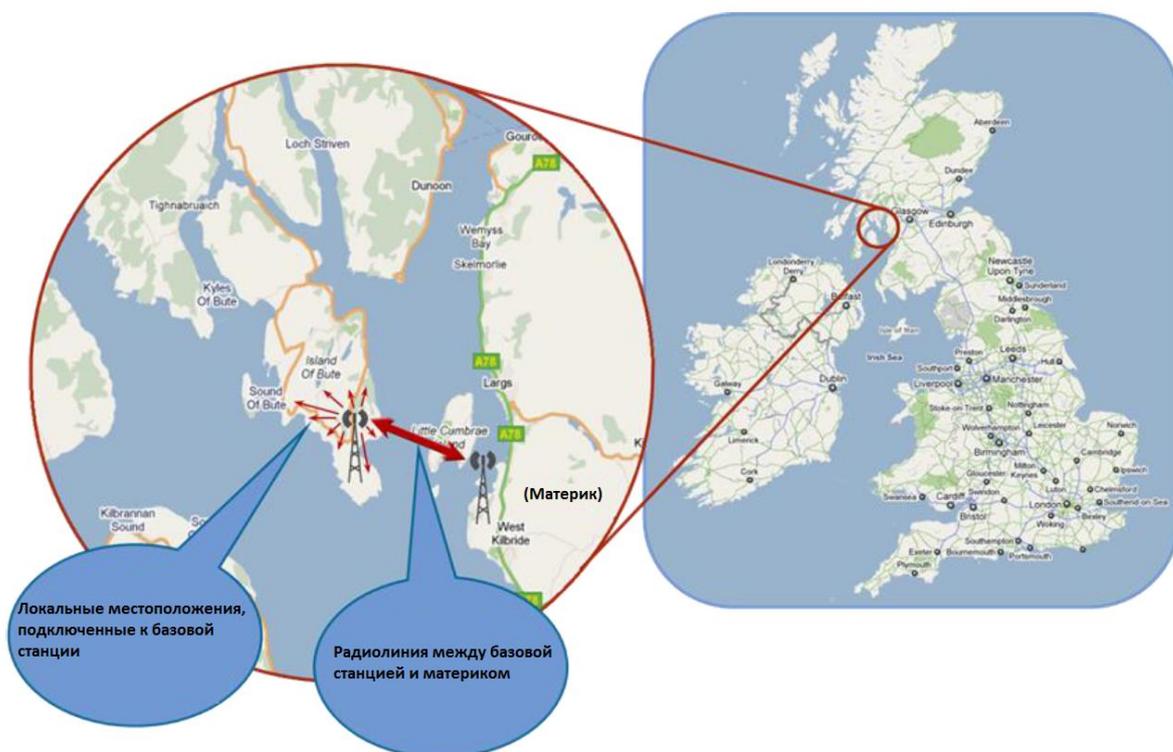


Рисунок 9 - Сеть беспроводной связи в рамках пилотного проекта

Во время проекта было сделано более 319000 URL запросов, при этом на каждого участника пилот проекта приходилось по 14 Гбайт тестовых данных, скаченных по средствам реализованной системы беспроводной связи. При этом скорость передачи данных зависит от многих факторов, которые были исследованы – стандарт беспроводной связи, мощность передатчика, расстояние до базовой станции и типа профиля местности. Некоторым участникам пилотного проекта удалось достичь скорости передачи данных до 14 Мбит/с, при расстоянии 2 км от базовой станции. С увеличением расстояния скорость передачи данных уменьшалась, но при этом оставалась на приемлемом уровне даже на расстоянии 5 км от базовой станции.

Исследования показали некоторые проблемы совместимости когнитивных устройств и ТВ приставок в том случае, если пользователь использует предусилитель ТВ сигнала, что существенно изменяет уровень требуемых защитных отношений. В некоторых случаях требуется их увеличение на величину до 30 дБ. При этом если предельно допустимая ЭИИМ была равна 4 Вт, то она станет равной 4 мВт. Во время реализации пилотного проекта было использовано примерно 75% «белых пятен» в исследуемой зоне на острове Бьют.

Зона покрытия

На рисунке 10 изображена зона покрытия базовых станций WiFi и WiMax. При этом в зоне 1 располагались локальные местоположения с оборудованием WiFi, а в зоне 2 локальные местоположения с оборудованием WiMax.



Рисунок 10 Зоны охвата базовых станций

Оборудование, использованное для обмена данными между БС и локальными местоположениями

- Прототип оборудования, разработанного в университете Strathclyde, основан на технологии XR7 Wi-Fi от Ubiquiti Networks. При этом было сделано несколько модификаций относящихся к полосе используемых радиочастот. Она составила 5 МГц, что позволило

использовать этот тип Wi-Fi внутри ТВ канала. Это оборудование использовалось для местоположений, относящихся к группе 1.

- Оборудование Airspan Networks, основанное на стандарте WiMax (IEEE 802.16e), настроенное на использование в 8 МГц ТВ канале с использованием MIMO 2x2 с ортогональной поляризацией антенн. Это оборудование использовалось для местоположений, относящихся к группе 2.

Для каждой группы местоположений радиолиния была организована на основе временного разделения каналов. При этом использовалось два частотных канала в полосе телевидения.

Некоторые результаты исследований

В таблице 5 приведены значения максимальной пропускной способности полученной при измерениях напряженности электромагнитного поля в различных точках исследуемой области с использованием подвижного измерительного комплекса

В таблице 6 приведены результаты измерений максимальной пропускной способности для локальных местоположений. При этом было замечено, что при удалении от базовой станции более чем на 2 км показатели для WiMax местоположений сильно ухудшались и становились даже ниже, чем у Wi-Fi.

Таблица 5 Максимальная пропускная способность в исследуемой области

Тип технологии	Протокол соединения	Максимальная скорость в линии вверх	Максимальная скорость в линии вниз
WiMAX (5 МГц) ЭИИМ 36 дБм	TCP	3.5 Мбит/с	8.9 Мбит/с
	UDP	3.4 Мбит/с	16.4 Мбит/с
Wi-Fi ЭИИМ 35 дБм	TCP	7.6 Мбит/с	3.8 Мбит/с
	UDP	8.0 Мбит/с	5.2 Мбит/с

Таблица 6 Пропускная способность для фиксированных местоположений

Тип технологии	Протокол соединения	Число одновременных соединений	Скорость в линии вниз
WiMAX (7 МГц) ЭИИМ 36 дБм	TCP	1	14 Мбит/с
		2	22 Мбит/с
		3	23 Мбит/с
	UDP	1	23 Мбит/с
		2	24 Мбит/с
		3	25 Мбит/с
Wi-Fi ЭИИМ 35 дБм	TCP	1	2-4 Мбит/с
		2	3.5-4.5 Мбит/с
		3	3.8 Мбит/с
	UDP	1	3.3-4.5 Мбит/с
		2	4.0-4.5 Мбит/с
		3	4.4 Мбит/с

3.7. Промежуточные итоги внедрения сетей когнитивного радио в Великобритании

Опыт внедрения когнитивного радио в Великобритании показал, что использование «белых пятен» в диапазоне телевидения имеет перспективу для работы в сельской или труднодоступной местности, устранения пробелов в покрытии современных сетей широкополосного доступа. На основе регуляторных документов Ofcom, было запущено несколько пилотных проектов, которые показали эффективность использования когнитивного радио в «белых пятнах». Также стоит отметить, что окончательный свод правил и рекомендаций по использованию «белых пятен» еще не сформирован, поэтому использование белых пятен носит локальный и исследовательский характер и на данный момент не получило широкого распространения на территории Великобритании.