

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(**Н И У « Б е л Г У »**)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Кафедра информационно-телекоммуникационных систем и технологий

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАНАЛЬНЫХ
РЕСУРСОВ В СИСТЕМАХ КОГНИТИВНОГО РАДИО**

Выпускная квалификационная работа студента

**очной формы обучения
направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи
4 курса группы 07001209
Зенина Владислава Витальевича**

Научный руководитель
доцент кафедры
Информационно-
телекоммуникационных
систем и технологий
НИУ «БелГУ»
канд. техн. наук, доцент
Сидоренко И.А.

Рецензент
профессор кафедры
прикладной информатики и
информационных технологий,
НИУ «БелГУ»
канд. техн. наук, доцент
Черноморец А.А.

БЕЛГОРОД 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА	6
1.1 Эволюция поколений мобильной связи	6
1.2 Анализ тенденций увеличения объемов передаваемой информации и прогнозов развития мобильных устройств	13
2 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ КОГНИТИВНОГО РАДИО.....	18
2.1 Предпосылки появления технологии когнитивного радио.....	18
2.2 Определение программно-конфигурируемого радио SDR.	20
2.3 Определение когнитивного радио.....	25
2.4 Принцип работы когнитивного радио.....	28
2.5 Перспективные стандарты, разрабатываемые для когнитивных радиосистем.....	35
2.6 Функциональная совместимость когнитивных радиосистем.....	38
3 ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ КОГНИТИВНОГО РАДИО.....	41
3.1 Определение оптимального метода для достижения множественного доступа.....	41
3.2 Преимущества метода OFDM.....	43
3.3 Проблемы, связанные с регулированием когнитивного доступа к спектру.....	45
3.4 Определение правил использования когнитивных устройств.....	50
3.5 Нормативно-правовые положения для различных методов когнитивного доступа.....	52
3.6 Принципы использования высвобожденного спектра.....	55

					11070006.11.03.02.105.ПЗВКР			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		<i>Зенин В.В.</i>			Исследование эффективности распределения канальных ресурсов в системах когнитивного радио	Лит.	Лист	Листов
Провер.		<i>Сидоренко И.А.</i>					2	100
Рецензент		<i>Черноморец А.А.</i>				<i>НИУ «БелГУ», гр._07001209</i>		
Н. контр.		<i>Сидоренко И.А.</i>						
Утв.		<i>Жуляков Е.Г.</i>						

4	ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ РЕСУРСОВ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕВЕЩАНИЯ БЕЛГОРОДСКОГО РЕГИОНА.....	61
4.1	Анализ эффективности использования спектра в системах телерадиовещания Белгородского региона.....	61
4.2	Оценка потенциально достижимой пропускной способности системы когнитивного радио.....	77
4.3	Рекомендации по практической части реализации дополнительных исследований.....	83
5	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ..	84
5.1	Планирование работ по исследованию.....	84
5.2	Расчет расходов на оплату труда на исследование.....	85
5.3	Расчет продолжительности исследования.....	87
5.4	Расчет стоимости расходных материалов.....	87
5.5	Расчет сметы расходов на исследование.....	88
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	92
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	98

ВВЕДЕНИЕ

С начала XX века, когда началось практическое использование радиосистем различного назначения, освоение новых диапазонов частот и развитие систем радиосвязи и телевидения, интенсивность использования РЧС постоянно возрастала. Это сопровождалось перегрузкой частотного спектра и необходимостью решения сложных и чрезвычайно острых проблем, связанных с разработкой методов устранения взаимных помех между работающими радиостанциями и повышения эффективности использования РЧС.

Основным механизмом распределения спектрального ресурса на сегодняшний день является так называемое лицензирование. Оно подразумевает закрепление того или иного частотного диапазона за тем или иным оператором, предоставляющим услуги конечному пользователю, на конкурсной основе. Соответственно, лицензированный спектр может использоваться только тем оператором, за которым он закреплен.

С одной стороны, как показывают исследования, использование частотного ресурса неодинаково эффективно во всей полосе частотного спектра и зависит от частоты, пространства и времени. С другой стороны, электромагнитный спектр, пригодный для современных мобильных телекоммуникационных систем, является конечным ресурсом. Данные обстоятельства позволяют говорить о неэффективности существующего механизма распределения спектрального ресурса, который на сегодня является статическим практически во всех доступных полосах частот.

Один из подходов к решению проблемы неэффективного использования спектрального ресурса был предложен в работах J. Mitola и вылился в концепцию когнитивного радио. Когнитивное радио – это интеллектуальная беспроводная система связи, способная анализировать окружающую обстановку и приспосабливаться к ней посредством обучения, реагируя на изменения в окружении изменением своих собственных параметров (например, несущей

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

частоты, мощности, способа модуляции) в реальном времени с целью увеличения эффективности использования спектрального ресурса.

Цель и задачи работы. Целью выпускной квалификационной работы является исследование эффективности распределения канальных ресурсов в системах когнитивного радио. В соответствии с поставленной целью в выпускной квалификационной работе решаются следующие основные задачи:

1. Анализ тенденций развития систем ШПД
2. Анализ технологии когнитивного радио
3. Особенности реализации когнитивного радио
4. Исследование эффективности использования частотных ресурсов на примере системы телевидения Белгородского региона
5. Экономическая оценка результатов исследования

Объем и структура работы. Выпускная квалификационная работа изложена на 100 страницах текста и состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Графический материал представлен в виде 8 рисунков и 20 таблиц. Список использованных источников включает 30 наименований на 3 страницах.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

1 АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА

1.1. Эволюция поколений мобильной связи

Для начала следует определить, из-за чего вообще возникла необходимость в поиске решения проблем с эффективным распределением спектра и его использованием.

Более 30 лет назад, когда появились мобильные устройства первого поколения, их работа была основана на аналоговом способе передачи информации и они имели возможность передавать речевые сообщения низкого качества без возможности предоставления каких-либо иных сервисов.

Во времена 1G мобильной связи никто не думал об услугах передачи различного вида данных – это были аналоговые системы, задуманные и разработанные исключительно для осуществления голосовых вызовов и некоторых других скромных возможностей [1]. Модемы существовали, однако из-за того, что беспроводная связь более подвержена шумам и искажениям, чем обычная проводная, скорость передачи данных была невероятно низкой. К тому же, стоимость минуты разговора в 80-х была такой высокой, что мобильный телефон мог считаться роскошью.

Во всех аналоговых стандартах применяется частотная (ЧМ) или фазовая (ФМ) модуляция для передачи речи и частотная манипуляция для передачи информации управления. Этот способ имеет ряд существенных недостатков: возможность прослушивания разговоров другими абонентами, отсутствие эффективных методов борьбы с замираниями сигналов под влиянием окружающего ландшафта и зданий или вследствие передвижения абонентов. Для передачи информации различных каналов используются различные участки спектра частот - применяется метод множественного доступа с частотным разделением каналов (Frequency Division Multiple Access - FDMA). С этим

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

непосредственно связан основной недостаток аналоговых систем - относительно низкая емкость, являющаяся следствием недостаточно рационального использования выделенной полосы частот при частотном разделении каналов.

В каждой стране была разработана собственная система, несовместимая с остальными с точки зрения оборудования и функционирования. Это привело к тому, что возникла необходимость в создании общей европейской системы подвижной связи с высокой пропускной способностью и зоной покрытия всей европейской территории. Последнее означало, что одни и те же мобильные телефоны могли использоваться во всех Европейских странах, и что входящие вызовы должны были автоматически направляться в мобильный телефон независимо от местонахождения пользователя (автоматический роуминг). Кроме того, ожидалось, что единый Европейский рынок с общими стандартами приведет к удешевлению пользовательского оборудования и сетевых элементов независимо от производителя.

Со временем появилось второе поколение мобильной связи 2G а вместе с ним и новые возможности, которые повлекли за собой рост потребностей пользователей. Их основным отличием от сетей первого поколения стал цифровой способ передачи информации, благодаря чему появилась, любимая многими, услуга обмена короткими текстовыми сообщениями SMS (англ. Short Messaging Service). При строительстве сетей второго поколения Европа пошла путем создания единого стандарта – GSM, в США большинство 2G-сетей было построена на базе стандарта D-AMPS (Digital AMPS – цифровой AMPS), являющегося модификацией аналогового AMPS. Кстати, именно это обстоятельство стало причиной появления американской версии стандарта GSM – GSM1900. С развитием и распространением Интернет, для мобильных устройств сетей 2G, был разработан WAP (англ. Wireless Application Protocol – беспроводной протокол передачи данных) – протокол беспроводного доступа к ресурсам глобальной сети Интернет непосредственно с мобильных телефонов.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Основными преимуществами сетей 2G по сравнению с предшественниками было то, что телефонные разговоры были зашифрованы с помощью цифрового шифрования; система 2G представила услуги передачи данных, начиная с текстовых сообщений СМС.

Растущая потребность пользователей мобильной связи в использовании Интернета с мобильных устройств послужила основным толчком для появления сетей поколения 2,5G, которые стали переходными между 2G и 3G. Сети 2,5G используют те же стандарты мобильной связи, что и сети 2G, но к имеющимся возможностям добавилась поддержка технологий пакетной передачи данных – GPRS (англ. General Packet Radio Service – пакетная радиосвязь общего пользования), EDGE (англ. Enhanced Data rates for GSM Evolution – повышенная скорость передачи для развития GSM) в сетях GSM [2]. Использование пакетной передачи данных позволило увеличить скорость обмена информацией при работе с сетью Интернет с мобильного устройств до 384 кбит/с, вместо 9,6 кбит/с у 2G-сетей.

Дальнейшей эволюцией системы GSM стала технология GPRS. Ее внедрение способствовало более эффективному использованию канального ресурса и созданию комфортной среды при работе с сетью Интернет. Система GPRS разработана как система пакетной передачи данных с теоретической максимальной скоростью передачи порядка 170 кбит/с. GPRS сосуществует с сетью GSM, повторно используя базовую структуру сети доступа. Система GPRS является расширением сетей GSM с предоставлением услуг передачи данных на существующей инфраструктуре, в то время как базовая сеть расширяется за счет наложения новых компонентов и интерфейсов, предназначенных для пакетной передачи.

Прогресс не стоял на месте, и для увеличения скорости передачи данных была изобретена новая система – EDGE. Она предусматривала введение новой

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

схемы модуляции. В результате стала достижима скорость в 384 кбит/с. EDGE была введена в сетях GSM с 2003 фирмой Cingular (ныне AT&T) в США.

Дальнейшим развитием сетей мобильной связи стал переход к третьему поколению. 3G – это стандарт мобильной цифровой связи, который под аббревиатурой IMT-2000 (англ. International Mobile Telecommunications – международная мобильная связь 2000) объединяет пять стандартов – W-CDMA, CDMA2000, TD-CDMA/TD-SCDMA, DECT (англ. Digital Enhanced Cordless Telecommunication – технология улучшенной цифровой беспроводной связи). Из перечисленных составных частей 3G только первые три представляют собой полноценные стандарты сотовой связи третьего поколения. DECT – это стандарт беспроводной телефонии домашнего или офисного назначения, который в рамках мобильных технологий третьего поколения, может использоваться только для организации точек горячего подключения (хот-спотов) к данным сетям.

Стандарт IMT-2000 дает четкое определение сетей 3G – под мобильной сетью третьего поколения понимается интегрированная мобильная сеть, которая обеспечивает: для неподвижных абонентов скорость обмена информацией не менее 2048 кбит/с, для абонентов, движущихся со скоростью не более 3 км/ч - 384 кбит/с, для абонентов, перемещающихся со скоростью не более 120 км/ч – 144 кбит/с. При глобальном спутниковом покрытии сети 3G должны обеспечивать скорость обмена не менее 64 кбит/с [3]. Основой всех стандартов третьего поколения являются протоколы множественного доступа с кодовым разделением каналов.

Дальнейшим развитием мобильных сетей связи стала технология HSPA (англ. High Speed Packet Access – высокоскоростной пакетный доступ), которую стали именовать 3,5G. Изначально она позволяла достичь скорости в 14,4 Мбит/с, однако сейчас теоретически достижима скорость 84 Мбит/с и более. Впервые HSPA была описана в пятой версии стандартов 3GPP. В ее основе лежит теория,

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

согласно которой при сопоставимых размерах сот применение многокодовой передачи позволяет достигать пиковых скоростей.

В марте 2008 года сектор радиосвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-Р) определил ряд требований для стандарта международной подвижной беспроводной широкополосной связи 4G, получившего название спецификаций International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced), в частности установив требования к скорости передачи данных для обслуживания абонентов: скорость 100 Мбит/с должна предоставляться высокоподвижным абонентам (например, поездам и автомобилям), а абонентам с небольшой подвижностью (например пешеходам и фиксированным абонентам) должна предоставляться скорость 1 Гбит/с.

Основной, базовой, технологией четвертого поколения является технология ортогонального частотного уплотнения OFDM (англ. Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) [4]. Кроме того, для максимальной скорости передачи используется технология передачи данных с помощью N антенн и их приёма M антеннами – MIMO (англ. Multiple Input/Multiple Output – множество входов/множество выходов). При данной технологии передающие и приёмные антенны разнесены так, чтобы достичь слабой корреляции между соседними антеннами.

В настоящее время ведутся научно-исследовательские работы в направлении разработки и создания сетей 5G. В 2015 году МСЭ разработал сценарий развития технологии и определил её название — «IMT-2020». Поставлена цель внедрения в жизнь стандарта IMT-2020 к 2020 году[5]. К сетям пятого поколения заявлены следующие амбициозные требования (в сравнении с LTE):

- Рост в 10-100 раз скорости передачи данных в расчете на абонента;
- Рост в 1000 раз среднего потребляемого трафика абонентом в месяц;

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

- Возможность обслуживания большего (в 100 раз) числа подключаемых к сети устройств;

- Многократное уменьшение потребление энергии абонентских устройств;

- Сокращение в 5 и более раз задержек в сети;

- Снижение общей стоимости эксплуатации сетей пятого поколения [6].

Сравнение различных параметров в мобильных сетях разных поколений показано в таблице 1.1:

Таблица 1.1 - Параметры сетей и диапазоны занимаемого частотного спектра

Поколение	1G	2G	2.5G	3G	3.5G	4G
Реализация	1984	1991	1999	2002	2006-2007	2008-2010
Сервисы	аналоговый стандарт, речевые сообщения	цифровой стандарт, поддержка SMS сообщений	увеличение емкости сетей, пакетная передача данных	увеличение емкости сетей, увеличение скорости передачи данных	увеличение скорости передачи данных	увеличение емкости, IP ориентированная сеть, поддержка мультимедиа
Скорость передачи	1,9 кбит/с	9,6-14,4 кбит/с	115 - 384 кбит/с	2 Мбит/с	3-14 Мбит/с	100 Мбит/с - 1 Гбит/с
Стандарты	AMPS, TACS, NMT	TDMA, CDMA, GSM, PDC	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA 2000, UMTS	HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+	LTE - Advanced, WiMax Release2 (IEEE 802.16m)

Окончание таблицы 1.1

Сеть	PSTN	PSTN	PSTN, сеть пакетной передачи данных	сеть пакетной передачи данных	сеть пакетной передачи данных	сеть пакетной передачи данных
Диапазон используе мых частот	400-900 МГц	900 МГц, 1800 МГц; 1900 МГц (США)		2000 МГц		700 МГц, 1700 МГц, 2100 МГц (США); 800 МГц, 1800 МГц, 2600 МГц (Европа); 700 МГц, 800 МГц, 1500 МГц, 1700 МГц, 2100 МГц (Япония)

Таким образом частотные диапазоны распределены и для пятого поколения существуют определенные сложности с выделением полосы, пригодной для его использования.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

1.2. Анализ тенденций увеличения объемов передаваемой информации и прогнозов развития мобильных устройств

С изменениями технологий предоставления мобильной связи менялось и количество абонентов, а следовательно и количество передаваемого трафика.

С тех пор, как в 2000 г. появился первый мобильный телефон с фотокамерой, число абонентов мобильной связи на нашей планете увеличилось в пять раз. По некоторым прогнозам к 2020 г. количество абонентов достигнет более 9 миллиардов.

На сегодняшний день в мире существуют 2,6 миллиарда пользователей смартфонов, и в то время как их рост стал выравниваться на развитых рынках таких регионов как Северная Америка и Европа, его темпы роста не претендуют долгосрочно задерживаться на одной позиции.

В течение следующих 5 лет планируется подключение более 26 миллиардов мобильных устройств, включая M2M-устройства: устройства мобильного широкополосного доступа, навигации, систем обеспечения безопасности и видеонаблюдения, контроля состояния здоровья и т.д.

К 2020 г. M2M-соединения будут представлять 26,4% подключенных мобильных устройств (показатель 2015 г. — 7,7%) и будут генерировать 6,7% общего мобильного трафика (в 2015 г. — 2,7%) [7].

К 2020 году 72% всех мобильных устройств будут относиться к категории «умных». Во всем мире ожидается 6,1 миллиарда пользователей смартфонов во главе с огромным ростом на менее развитых рынках в странах Азии, Ближнего Востока и Африки. Их трафик будет составлять 80% всего мобильного трафика данных. Если 6,1 млрд смартфонов будут находиться в обращении, то мы станем свидетелями переломного момента: количество пользователей смартфонов, наконец, превысит количество пользователей стационарной фиксированной связи во всем мире в 2020 году.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

С ростом количества устройств неуклонно возрастают объёмы передаваемой информации в сетях мобильной связи. Мировой мобильный интернет-трафик за 2015 год вырос на 65%, видеопотребление на мобильном телефоне в настоящее время растет со скоростью 55% в год, а трафик, создаваемый в социальных сетях, стал вторым по объему после видеотрафика. Прогнозируется, что в ближайшие шесть лет трафик, генерируемый пользователями соцсетей, вырастет в 12 раз, сообщается в отчете компании Ericsson .

При этом за 2015 год в высокоскоростных сетях LTE насчитывается 1 млрд подключений, 160 млн из которых пришлись на четвертый квартал.

В целом за четвертый квартал 2015 года в мобильных сетях зафиксировано порядка 7,3 млрд подключений, что равно численности мирового населения. Новых подключений за квартал насчитывается 68 млн. По росту этого показателя лидировали страны Азии и Ближнего Востока [8].

Ключевые положения представлены в таблицах 1.2. и 1.3:

Таблица 1.2 - Прогнозирование изменения количества пользователей различными стандартами связи, а также количества пользователей смартфонов.

Категории мобильных пользователей	2015	Прогноз к 2021	Единицы измерения
Количество абонентов мобильной связи во всем мире	7,300	9,100	МИЛЛИОНЫ
Пользователей смартфонов	3,400	6,400	МИЛЛИОНЫ
Пользователей 5G	0	150	МИЛЛИОНЫ

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Окончание таблицы 1.2

Пользователей мобильной широкополосной связи	3,600	7,700	миллионы
Пользователей мобильной связи только GSM/EDGE стандартов	3,600	1,300	миллионы
Пользователей мобильной связи стандартов WCDMA/HSPA	2,200	3,200	миллионы
Пользователей мобильной связи стандарта LTE	1,000	4,100	миллионы

Таблица 1.3 - Количество передаваемого трафика.

Накоплено мобильного трафика	2010–2015	Прогноз на 2016–2021	Единицы измерения
Всего	120	1,600	ЭксаБайты*
Видео	50	1,000	ЭксаБайты*
Социальных сетей	15	180	ЭксаБайты*

1 ЭксаБайт = 1 073 741 824 ГигаБайт

Несколько операторов сотовых сетей, планируя своё дальнейшее развитие, пришли к решению о "выключении" сетей GSM [9]. О своём решении они объявили публично и некоторые из них даже обозначили более-менее конкретные сроки. Это означает, что были оценены все плюсы и минусы отказа от сетей 2-го поколения и сделано это будет ради более эффективного использования имеющегося у операторов частотного ресурса.

В середине июня 2015 года три оператора сотовых сетей, развёрнутых в Сингапуре, сообщили, что намерены через два года перестать эксплуатировать свои сети GSM. Компании M1, Singtel и StarHub запланировали отключение сетей 2-го поколения на 1 апреля 2017 года. По данным GSMA Intelligence, в Сингапуре услугами сотовой связи пользуется около 3,5 млн. абонентов, 458 тысяч — владельцы 2G-телефонов и модемов.

Информация не была неожиданной: о том, что SingTel планирует отказаться от сети 2G, было сказано ещё осенью прошлого года на выставке "LTE ASIA 2014". До этого появлялась информация о желании расстаться с GSM-сетями и от других крупных сотовых операторов в разных частях мира. Так, австралийская компания Telstra намерена отказаться от "старой" сети до конца 2016 года, американская AT&T может выключить базовые станции в сети 2G в начале января 2017 года. А южнокорейская компания КТ с января 2012 года уже перестала предоставлять услуги связи в сети 2G, освободившиеся частоты были задействованы для сетей LTE. К такому шагу оператора КТ подтолкнула жёсткая конкуренция внутри местной "большой тройки".

Своеобразным буфером, предотвращающим резкий отказ от 2G-терминалов, является рынок M2M, где распространены именно GSM-модемы, благодаря хорошему балансу между их стоимостью и характеристиками.

Таким образом уже сейчас можно наблюдать реально имеющиеся проблемы с распределением спектральных ресурсов в различных государствах и

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

областях с разными плотностями населения. Прослеживаются тенденции повышения пропускных способностей, увеличения скорости передачи данных, появления новых сервисов и приложений, увеличение количества девайсов, поддерживающих доступ в интернет, что приводит к проблемам поиска новых частотных ресурсов и удовлетворения потребностей населения в широкополосном доступе в Интернет.

Одним из возможных решений данных проблем является использование технологии когнитивного радио.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

2 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ КОГНИТИВНОГО РАДИО

2.1. Предпосылки появления технологии когнитивного радио

Сети передачи данных - жизненный компонент любого современного общества. Они активно используются в многочисленных отраслях человеческой деятельности, включая финансовые операции, социальные взаимодействия, образование, национальную безопасность, и торговлю. В частности оба типа устройств, будь то проводные или беспроводные устройства, способны к предоставлению множества современных функций, которые поддерживают значительный объем услуг, таких как голосовая телефония, веб-браузеры, потоковые мультимедиа услуги, и передача различных типов данных. С быстрым развитием микроэлектроники беспроводные приемопередатчики становятся более универсальными, мощными, и портативными. Это подтолкнуло к развитию *программно-конфигурируемого радио* (SDR) - технологии, где радио-приемопередатчики способны с помощью программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры, включая диапазон частот, тип модуляции, выходную мощность, компрессию и корректирующие коды.

Начиная с введения технологии в 1991, SDR было определено как радио платформа, функциональность которой, по крайней мере, частично управляется или осуществлена в программном обеспечении. Следовательно, любая форма волны определенная в памяти SDR платформы может использоваться на любой частоте [10]. Хотя первоначально существовали ограничения в конверсионных процессах между аналоговыми и цифровыми сигнальными областями, появление быстродействующих дешевых цифро-аналоговых преобразователи (DACs) и аналого-цифровых конвертеров (ADCs) принесло идеальный концепт SDR как

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

систему связи, выполненную полностью на программном обеспечении (включая функциональность радиочастотных изменений).

Беспроводные устройства, которые могут быть описаны как SDR, фактически существовали еще несколько десятилетий назад. Первоначально они были задействованы в военных технологиях, прежде чем началось их использование в коммерческом секторе. Военные программы, такие как SpeakEasy использовали программную обработку для эмуляции различных существующих военных систем радио, работающих в диапазоне от 2 до 2000 МГц, с возможностью взаимодействия друг между другом[11]. Хотя амбициозный проект SPEAKeasy действительно производил функционально опытный образец, даже при том, что в программировании форм волны в нем использовался ассемблер низкого уровня не означало, что программное обеспечение было совместимо с более новыми процессорами. Кроме того, с точки зрения мобильности, первые опытные образцы SpeakEasy были достаточно большими даже для того, чтобы вписаться в заднюю часть грузовика [12].

Одним из первых существенных промышленных внедрений платформы SDR стала базовая станция Anywave Vanu, использовавшая программное обеспечение, которая соединяла множественные сотовые стандарты доступа в простом исполнении SDR. С тех пор как сотовые стандарты базируются на программном обеспечении, они могут быть изменены "на лету", чтобы приспособиться к различным пользовательским потребностям из каждой соты, вместо того, чтобы менять радиочастоту (RF) в аппаратных средствах, модернизация которых может быть предельно дорогостоящей. Кроме того, новые стандарты могут быть загружены в SDR платформу для непосредственного развертывания в сотовой области [13]. С увеличением эффективности и возрастанием жизненного цикла платформы SDR, большинство разработчиков стремятся использовать универсальный код для их программного обеспечения, переиспользуемые компоненты, которые могут работать с различными

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

конфигурациями формы волны, и аппаратными средствами, которые могут быть легко модернизированы [14].

Учитывая простоту и скорость программирования операций по основной полосе частот в платформе SDR, эта технология, как полагают, является главным кандидатом для многочисленных передовых сетевых приложений и архитектур, которые были нереализуемы всего несколько лет назад. Платформа, основанная на SDR, которая может быстро реконфигурировать операционные параметры, основанные на изменении требований и условий и посредством процесса познания стала известна как *когнитивное радио* [15]. Термину *когнитивное радио* (CR) впервые дал определение Джозеф Митола III. Согласно Mitola, технология CR - это “пересечение персональных беспроводных технологий и вычислительного интеллекта”, где CR определено как “радио несомненно идет рука об руку с SDR; вместе, они могут достигнуть функциональности, которую рассматривали невозможной всего лишь пару десятилетий назад.

Из этого следует, что прежде чем продолжить дальнейшее описание CR, необходимо сначала провести краткий обзор технологии SDR.

2.2. Определение программно-конфигурируемого радио SDR

Прежде, чем описать, как работает SDR, необходимо рассмотреть конструкцию обычного цифрового радио, схема которого показана на рисунке 2.1.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

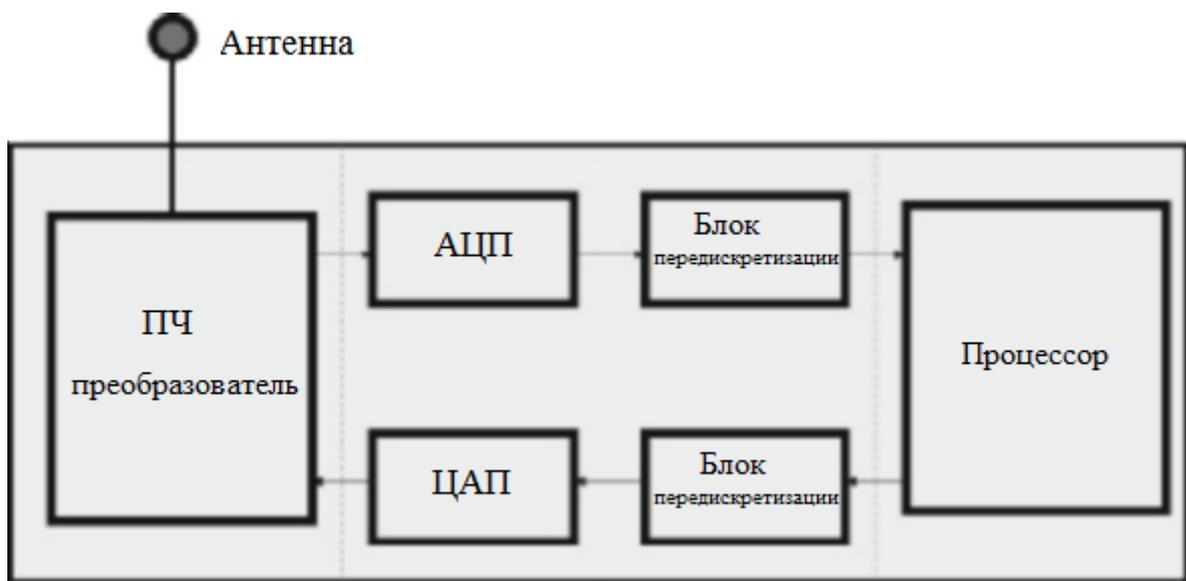


Рисунок 2.1 - Функциональная схема цифрового радио .

Рисунок 2.1 показывает блок-схему цифрового радио, которая состоит из пяти секций:

- Секция антенны, которая получает или передает закодированную информацию посредством радиоволн.

- Радиочастотный передний оконечный участок, который отвечает за передачу/прием радиочастотных сигналов от антенны и преобразования их в промежуточную частоту (ПЧ).

- секция АЦП/ЦАП, которая выполняет аналого - цифровые / цифро - аналоговые преобразования.

- Блоки передискретизации - цифрового повышающего преобразования (DUC) и цифрового преобразования с понижением частоты (DDC), которые по существу выполняют модуляцию сигнала на пути передачи и демодуляцию сигнала на пути получения.

- Секция основной полосы частот, которая выполняет операции, такие как установка связи, эквализация, скачкообразная перестройка частоты, кодирование/расшифровка, и корреляция, в то время как также осуществляет протокол канального уровня.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

DDC/DUC и операции по обработке основной полосы частот требуют большой вычислительной мощности, и в обычном цифровом радио осуществляются в специализированных аппаратных средствах.

В программируемом цифровом радио (PDR) операции по обработке основной полосы частот и протоколы уровня реализованы в программном обеспечении, в то время как функциональные возможности DDC/DUC осуществляются с использованием специализированных интегральных схем (ASICs).

Программно-конфигурируемое радио относится к технологиям, в которых эти функции выполняются программными модулями, работающими на программируемых пользователем вентильных матрицах (FPGAs), процессорах цифровых сигналов (DSP), процессорах общего назначения (GPP), или различными сочетаниями этих устройств. Это позволяет одновременно программировать DDC/DUC и основную полосу частот для обработки в различных блоках. Следовательно, операционные особенности радио, такие как кодирование, тип модуляции, и диапазон частот, могут быть изменены по желанию, просто с помощью загрузки нового программного обеспечения. Также несколько радиоустройств, использующих различные виды модуляции могут быть заменены одним единственным радиоустройством, которое может выполнить те же самые задачи.

Если преобразование AD/DA может быть отодвинуто еще дальше в блок RF, программируемость может быть расширена до переднего края RF и реализация идеального радио, определяемого *программно конфигурируемым* может быть осуществлена. Однако в данном переходе есть множество проблем: от радиоаппаратных средств до программного обеспечения. Во-первых, переход от аппаратных средств до обработки программного обеспечения приводит к существенному увеличению вычислительных затрат, которые в свою очередь приводят к увеличенному расходу энергии. Это уменьшает срок службы

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

аккумулятора и является одной из основных причин, почему программно конфигурируемое радио еще не были развернуто в устройствах конечного пользователя, а размещается в базовых станциях и точках доступа, которые могут использовать для своих целей внешние энергетические ресурсы.

Во-вторых, вопрос, где преобразование AD/DA может быть выполнено, определяет то, какие радио-функции могут быть выполнены в программном обеспечении и, следовательно, как реконфигурируемое радио может быть выполнено. Конечная цель для радио с определяемым программным обеспечением должна переместить AD/DA преобразование настолько близко, насколько возможно к антенне так, чтобы вся обработка сигнала могла быть выполнена в цифровой форме. Однако существуют два технических ограничения, которые делают в настоящее время неосуществимым преобразование AD/DA в антенне. Во-первых, преобразование в цифровую форму сигнала RF требует поступающий сигнал, который будет выбран, по крайней мере, при уровне, который определен частотой Найквиста. Кроме того, чем выше скорость передачи данных сигнала, тем выше требование к разрешающей способности, чтобы захватить информацию. В совокупности это означает, что высокая пропускная способность и высокочастотные передатчики требуют очень высоких частот дискретизации.

Способность поддерживать очень высокие частоты дискретизации, которая особенно важна с использованием высокочастотных сигналов в гигагерцовом диапазоне, ограничивает диапазон того, что может быть переведено в цифровую форму. К примеру, типичные каналы, которые используются устройствами в стандарте 802.11 WiFi имеют ширину 20 МГц. Для того, чтобы гарантировать, что все 20 МГц предоставлены модему без искажения, для ADC(АЦП) не является необычным перевести 40 МГц в цифровую форму или для полосы пропускания сигнала. Для захвата 40 МГц аналоговой полосой пропускания сигнала, установленной с помощью фильтров IF без наложения артефактов, АЦП,

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

вероятно, будет дискретизировать сигнал со скоростью выше 80 миллионов выборок в секунду (Msps). На самом деле, только недавно стали доступными по стоимости достаточно быстрые DSPs и наборы широкополосных микросхем AD/DA и сделали возможным наблюдать преобразование IF скорее, чем сигнал основной полосы частот.

SDR в настоящее время используется, чтобы построить радиостанции, которые поддерживают различные технологии интерфейса (например, CDMA, GSM, и WiFi) с единственным модемом, который может менять конфигурацию с помощью программного обеспечения. Тем не менее, модемы SDR являются дорогостоящими, так как они, как правило, влекут за собой программируемые устройства, такие как FPGAs, в отличие от выпускаемых серийно одноцелевых ASICs используемых в большинстве потребительских устройств сегодня (и ключевых компонентов для недорогих телефонов). Даже сегодняшние многомодовые устройства имеют, как правило, только несколько ASICs или несколько ядер на одном единственном ASIC. SDR в настоящее время используется главным образом в военных целях, где на стоимость компонентов накладываются значительно меньшие ограничения, нежели на устройства, предназначенные для широкого круга пользователей. SDR это также технология модема, которая игнорирует проблемы, конструктивно образующиеся в RF - устройствах. В частности, радиочастотные конструкции беспроводных устройств, как правило, тесно связаны между собой с базовой технологией доступа и обладают современным дизайном. Например, разные технологии радиоинтерфейса имеют различные требования к спектральной маске и разные степени уязвимости по отношению к соканальным помехам и сильной мощностью, создаваемой в соседнем канале.

Устройство, которое должно работать в широкой полосе частот или в широком диапазоне RF - сигнальных сценариев (т.е. там, где другие устройства

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

работают на соседних частотах), будет более сложным и дорогим чем устройство узкоспециализированное.

2.3. Определение когнитивного радио

Реконфигурируемая технология, которую предлагает SDR, позволяет радиоустройствам переключаться между программно-определенными функциями и операциями. Однако, SDR может делать это только по требованию пользователя; оно не способно перенастраивать себя в наиболее эффективную форму без участия пользователя из вне. В научных работах Митолы и многих его публикациях, он предлагал идею самореконфигурирующегося радио и дал ему определение *когнитивного радио*. Согласно раннему видению Митолы, CR должно было быть реализовано за счет интеграции модели со встроенным программным обеспечением, основанной на рассуждении и могло бы самопознавать изменения в окружающей радиообстановке, вместо того, чтобы изменять свои настройки только с помощью пользователя программированием из вне. По аналогии с умственной деятельностью познания, Mitola также обрисовал в общих чертах познавательный цикл, через который такое радио может перенастраивать себя через непрерывный процесс познания - как себя, так и внешнего мира, восприятия, рассуждения, и принятия решений. В концепция CR упор делается на повышении качества информации и опыта, пригодного для пользователя, с возможностями реконфигурации системы за счет способности когнитивного радио стать средством для этих целей. В настоящее время термин CR стал всеобъемлющим для широкого спектра разнообразных технологий, которые позволяют радиоприборам достигать различных уровней конфигурации с акцентом на различных функциональных возможностях, начиная от вездесущего

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

беспроводного доступа, оптимизации автоматизированного распределения радиоресурса, до динамического доступа к спектру в перспективных устройствах.

В настоящий момент существует несколько определений когнитивного радио. Одно из них звучит следующим образом: когнитивное радио – это радиосистема, использующая технологию, которая позволяет системе получать знания о своем эксплуатационном или географическом окружающем пространстве, установленных регуляторных нормах и своем внутреннем состоянии; динамично и независимо от внешнего пользователя способна подстраивать свои эксплуатационные параметры и протоколы в соответствии с полученными знаниями для достижения предустановленных целей; способна обучаться на основе полученных результатов.

Федеральный Комитет Связи США (FCC) использует более узкое определение для этого понятия: когнитивным радио (CR) является радио, которое может изменять свои базовые параметры приемопередатчика на основе взаимодействия с окружающей средой, в которой оно работает. Большинство когнитивных радиосистем, вероятно, будут относиться к SDR, но ни одна из них, имея программное обеспечение, не будет широкой областью для программирования сторонними пользователями, что является требованиями когнитивного радио.

Несмотря на некоторые различия во множестве существующих определений, понятие CR имеет две главные особенности, которые находятся практически в каждом из предлагаемых определений.

Системы CR обладают способностью самореконфигурироваться и имеют интеллектуально адаптивное поведение. Под интеллектуально адаптивным поведением здесь следует понимать способность адаптироваться к изменениям радиообстановки, не будучи априори запрограммированным для этих целей; то есть, через некоторую форму обучения или познания. Например, телефон, который изучает радиочастотную карту вокруг него, может создать

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

индексированный вектор местоположения RSSI (широта, долгота, время, RF, RSSI) и использовать алгоритм машинного обучения для того, чтобы переключать диапазон его частот, в то время как пользователь будет передвигаться в пространстве.

Из этого следует, что функции когнитивного радио требуют, по меньшей мере, следующих способностей:

■ **Гибкость и быстродействие** - способность изменять форму волны и другие радиоэксплуатационные параметры на лету. Напротив, существует весьма ограниченная вероятность того, что существующее на текущий момент многоканальное мультирадио (MC-MR) способно сделать что-либо подобное. Полная гибкость становится возможна, только тогда, когда CR системы построены на основе SDR систем. Другим важным требованием, для того, чтобы достигнуть необходимой гибкости, являются реконфигурируемые или широкополосные антенные устройства.

■ **Чувствительность** - способность наблюдать и оценивать состояния окружающей среды, включая спектральную загруженность. Чувствительность необходима, если устройство должно изменить свои параметры, основываясь на его знаниях об окружающей RF среде.

■ **Способность к познанию и адаптации** - способность анализировать входящую информацию, распознавать различные структуры, и изменять внутреннее эксплуатационное поведение, основываясь на анализе новых ситуаций, не только на предварительно закодированных алгоритмах, но также и в результате механизмов познания.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

2.4. Принцип работы когнитивного радио

В настоящий момент радиосвязь развивается таким образом, что с каждым днем предлагается все больше услуг, использующих различные технологии и радиointерфейсы. В таком сложном радиопространстве когнитивная способность терминала является ключевой и может обеспечить оптимизацию использования радиоресурсов. Учитывая информацию о радиопространстве, когнитивное радио может переключаться на наиболее подходящую технологию и частоту для предоставления требуемой услуги.

Особенностью когнитивных систем является использование элементов искусственного интеллекта. Помимо традиционных плоскости пользователей и плоскости цифрового управления добавляется плоскость искусственного интеллекта, которая обеспечивает поддержку всех уровней сетевой архитектуры.

Архитектура когнитивных сетей базируется на технологии принятия решений и технологии управления знаниями о предметной области. Когнитивные сети, прежде всего, будут использоваться для межуровневой оптимизации сети и управлять динамикой действий, одновременно используя параметры, принадлежащие многим уровням в стеке протоколов сети. Расширяя последовательность шагов (цикл) реализации интеллектуального управления автономной системой, состоящего из последовательности "мониторинга, анализа, планирования и выполнения", универсальная архитектурная платформа когнитивной системы может содержать следующие модули: модуль мониторинга и сбора данных; модуль логического вывода (рассуждения); модуль обучения; модуль принятия решения; исполнительный модуль; модуль политики и модуль управления знаниями, как показано на рис. 2.2:

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

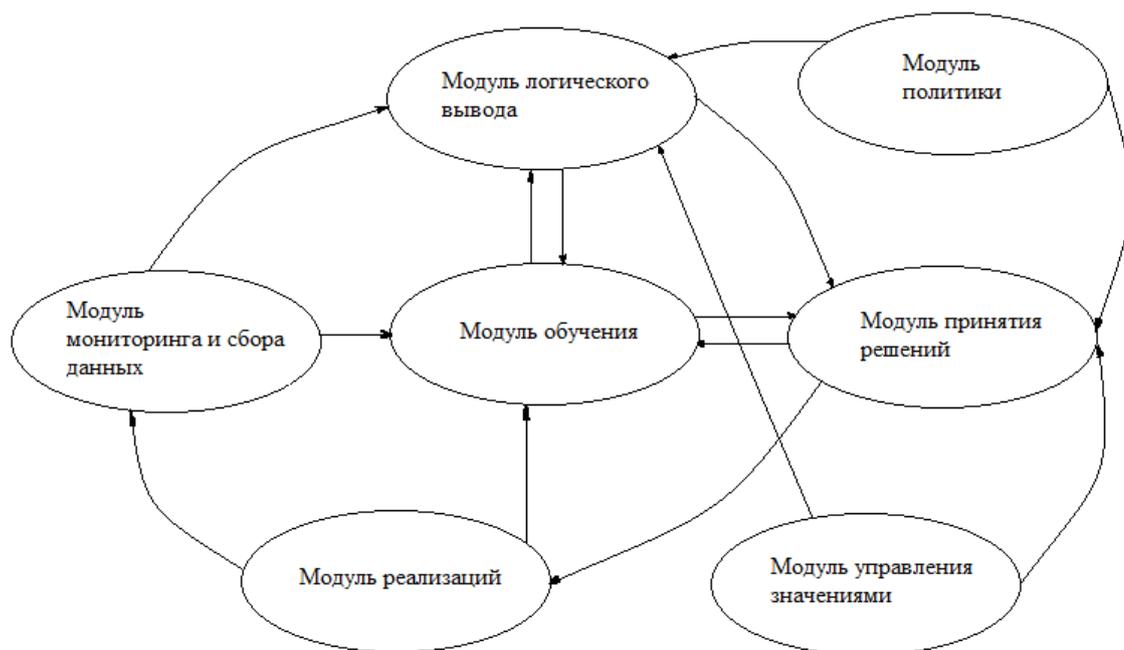


Рисунок 2.2 - Архитектура платформы когнитивной радиосистемы

Когнитивная система непрерывно зондирует свою среду, чтобы идентифицировать потенциальные условия, которые могли бы оказывать воздействие на ее функционирование. Рассмотрим назначение основных модулей когнитивной сети. Модуль мониторинга и сбора данных объединяет, коррелирует и фильтрует данные до тех пор, пока условие, которое должно быть далее анализировано, не будет идентифицировано. Наблюдения, зафиксированные модулем мониторинга и сбора данных, будут обработаны и проанализированы модулем логического вывода, и в то же время, они направятся в модуль обучения, который в состоянии изучить и запомнить полезные наблюдения, которые могут помочь процессу принятия решения в будущем. Модуль логического вывода определяет потенциальные действия и стратегии, которые будут базироваться на наблюдениях и знаниях, которые приобретены посредством модуля обучения и заложены в модуль политики. Модуль принятия решений определяет действия, которые будут взяты из опыта эксплуатации системы, а также из модуля обучения. Исполнительный модуль реализует результаты обработки, полученные

модулем принятия решения. Модуль обучения может обучаться на основе нескольких источников, например, из собранной информации, стратегии решений, и полученной обратной связи; он может также коррелироваться и выделять из этого полезные для себя знания. Архитектура когнитивной беспроводной сети должна быть расширяемой и гибкой для поддержания дальнейшего усовершенствования технологии, элементов сети и новых целей.

Основные компоненты приемника когнитивной радиосистемы представлены на рисунке 2.3:

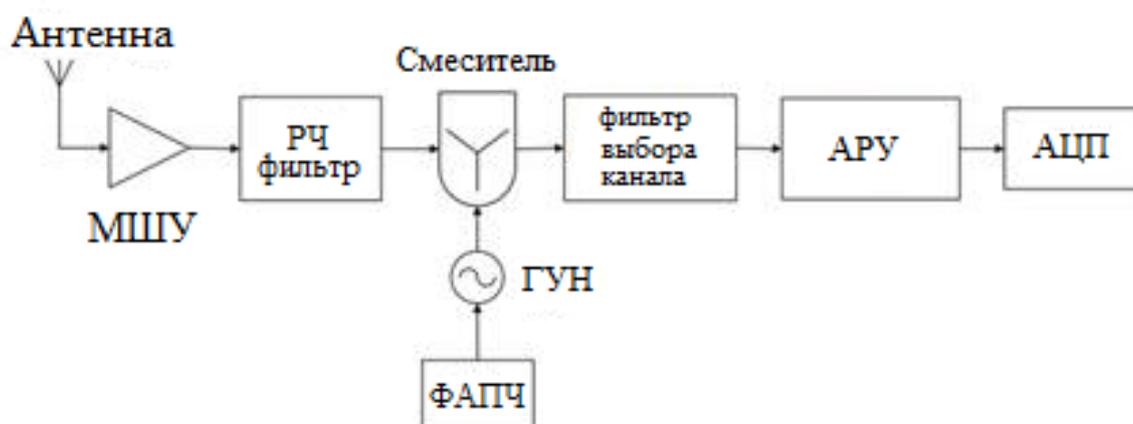


Рисунок 2.3 - Функциональная схема когнитивного радиоприемника на платформе SDR

Каждый компонент может быть изменен через шину управления, чтобы адаптироваться к изменяющейся во времени РЧ среде. Важной характеристикой когнитивной приемопередающей системы является возможность широкополосного зондирования ее переднего конца РЧ. Эта функция в основном связана с технологиями РЧ оборудования, такими как широкополосные антенны, усилители мощности, и адаптивные фильтры. РЧ оборудование для когнитивного радио должно быть способно настраиваться под любой сегмент в широком диапазоне спектра. Такое спектральное зондирование позволяет проводить измерения в режиме реального времени и получать информацию об окружающей радиосреде и спектральной занятости.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

В структуру приемопередатчика входят следующие компоненты: малошумящий усилитель (МШУ) - МШУ усиливает полезный сигнал и одновременно сводит к минимуму составляющую шума; РЧ-фильтр - РЧ-фильтр выбирает нужный диапазон с помощью полосового фильтра приемника; смеситель - смеситель умножает принимаемый сигнал на локально сгенерированный РЧ сигнал и преобразует его в основной полосе частот или промежуточной частоты (ПЧ); генератор, управляемый напряжением (ГУН) - ГУН генерирует синусоиду умножаемую с полученным сигналом и преобразует его в любом ПЧ или основной полосе частот сигнала; фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) - основной задачей системы ФАПЧ является подстройка сигнала к определенной частоте и генерирование точных частот с высоким разрешением; фильтр выбора канала - фильтр выбора канала используется для выбора желаемого канала и исключает использование других нежелательных каналов; автоматическая регулировка усиления (АРУ) - АРУ используется для поддержания постоянного уровня мощности выхода усилителя в широком диапазоне уровней входных сигналов.

В этой архитектуре широкополосный сигнал поступает через передний конец РЧ на аналого-цифровой преобразователь высокого быстродействия, и выполняются измерения для определения сигнала лицензированного пользователя. АЦП представляет собой наиболее критичный компонент в системе, поскольку его быстродействие влияет на то, насколько близко антенна должна быть к самому АЦП. Среди наиболее важных характеристик самого АЦП необходимо выделить его скоростные параметры, разрешение и линейность. Если рассматривать АЦП с невысокой стоимостью (а только такие могут использоваться в массовой продукции), то разрешение таких приборов в среднем достигает 100 млн выб./с. Это достаточное значение для того, чтобы оцифровать сигнал промежуточной частоты, но явно недостаточно для оцифровки высокочастотного радиосигнала. Прямой путь реализации когнитивного радио —

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

использовать архитектуру прямого преобразования, в которой аналоговые цепи напрямую понижают радиочастотный сигнал, пропуская этап промежуточной частоты. Такая архитектура позволяет поддерживать более широкий диапазон частот и полос пропускания за счет прямого преобразования и отсутствия каскадов промежуточной частоты. Другой подход заключается в использовании нескольких антенн так, что фильтрация сигнала выполняется в пространственной области, а не в частотной области. Несколько антенн могут быть использованы, чтобы принимать сигналы выборочно с использованием методов формирования луча.

Ключевой задачей когнитивного радио является точное обнаружение маломощных сигналов лицензированных пользователей в широком диапазоне спектра. Таким образом, реализации переднего конца РЧ с возможностью захвата широкополосных сигналов и быстродействующими АЦП/ЦАП преобразователями являются важными задачами в области построения когнитивных радиосистем.

Организация системы когнитивного радио возможна следующими способами:

- с использованием базы данных, содержащей информацию об окружающем радиопространстве (например, о технологиях радиодоступа);
- с использованием контрольного канала (Cognitive Pilot Channel, CPC).

Текущие мировые исследования сосредоточены на концепции использования контрольного канала CPC. Его суть заключается в том, что доставка необходимой информации осуществляется с помощью своего рода общего контрольного канала, который позволяет терминалу знать о статусе занятости радиоканала.

Когнитивной системой с контрольным каналом можно считать систему, обеспечивающую работу радиоканала в окружающей среде с несколькими технологиями радиодоступа (Radio Access Technology, RAT). Пример среды с несколькими технологиями радиодоступа схематично приведен на рисунке 2.4:

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32

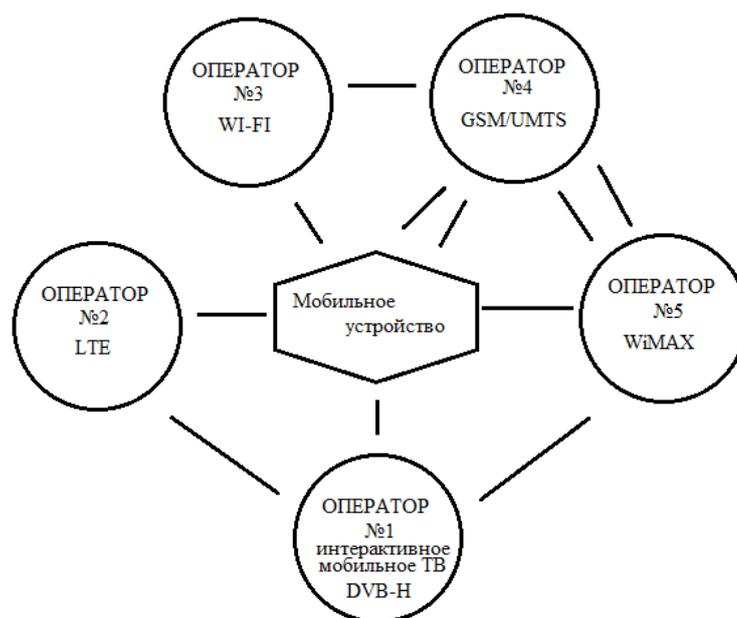


Рисунок 2.4 - Пример содержания окружающей среды с несколькими технологиями радиодоступа.

Без наличия какой-либо информации о расположении нескольких технологий радиодоступа в пределах рассматриваемой полосы частот, достижимой с подвижного терминала, необходимо просканировать всю полосу частот для того, чтобы узнать загруженность спектра. Однако для этого требуется длительное время.

В таком контексте, в контрольном канале необходимо передать достаточное количество информации на мобильный терминал, чтобы тот, в свою очередь, смог начать сеанс связи, оптимизированный ко времени, ситуации и местоположению. В контрольном канале требуется передать соответствующую информацию, касающуюся полос частот, технологий радиодоступа, служб и состояния загруженности спектра в местоположении терминала.

В частности, после включения подвижный терминал не знает, какая технология радиодоступа может быть наиболее подходящей или в каких полосах частот работают возможные технологии радиодоступа.

В работе терминала при взаимодействии с контрольным каналом предлагается различать две основные фазы, так называемые фазы «запуска» и «продолжения».

Фаза «запуска»: после включения терминал определяет свое географическое местоположение, используя систему позиционирования, и позже он обнаруживает СРС. После определения и синхронизации с СРС, терминал осуществляет поиск информации, передаваемой в контрольном канале, касающейся зоны его расположения, что и завершает фазу запуска.

Фаза «продолжения»: когда терминал подсоединился к сети, может быть полезна периодическая проверка информации, направленной от СРС, для быстрого обнаружения изменений в окружающей среде в связи либо с изменением положения, либо реконфигурацией сети.

При работе терминала в фазе «продолжения» осуществляется не только прослушивание контрольного канала системы когнитивного радио, который называют внеполосным, но и контрольного канала конкретной системы радиодоступа, называемого внутриволосным.



Рисунок 2.5 - Процесс работы терминала с контрольным каналом

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

На рисунке 2.5 представлены основные фазы взаимодействия терминала с контрольным каналом, учитывая взаимодействие с внеполосным и внутриволновым контрольным каналом.

Таким образом существует несколько способов, которыми можно организовать когнитивную систему. Способы организации в свою очередь должны выбираться исходя из типа местности, плотности населения, финансовых возможностей и многих других критериев, о которых будет сказано далее.

2.5. Перспективные стандарты, разрабатываемые для когнитивных радиосистем

Главными первопроходцами в области исследования CR принято считать Митолу и Магуайра с их оригинальной работой, выпущенной в 1999. Однако, существовали и более ранние исследования в области измерения спектра, проводимые в 1995, в которых определялась количественная оценка использования спектра в имеющих и не имеющих лицензию частотных полосах. В Соединенных Штатах исследования CR были сосредоточены на динамическом спектральном доступе (DSA) и повторном использовании спектра как главных целях начальных исследований. Наиболее известным проектом в области управления использованием спектра и стратегических исследований был XG-проект, финансируемый управлением перспективных исследовательских программ DARPA. Главной целью проекта XG было изучение так называемых стратегических серверов и технологии вторичного использования частот, в частности, для военных целей. Ранний успех XG проекта подтолкнул сообщество к тому, чтобы изучить возможности CR в более широком смысле. Еще одним стимулом для исследований стали заявления ученых, таких как Lessig, Reed, и

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Реша, которые указали на то, что существуют недостатки в существующем распределении частотных полос между различными операторами.

В области стандартизации образовались три главных группы, которые продолжили работать с соответствующими технологиями и архитектурами: IEEE 802.22 и SCC41 (формально P1900) и позднее Технический Комитет по реконфигурируемым радиосистемам CR и SDR ETSI. Кроме того, обсуждение SDR в промышленной группе изучало также некоторые вопросы, связанные с CR. Фактически, наиболее передовой деятельностью по стандартизации, занималась группа IEEE 802.22. Данная группа также занималась исследованием, которое должно было обеспечивать динамический доступ к свободному ТВ спектру.

Новый стандарт IEEE 802.22 был спроектирован для беспроводных региональных сетей (Wireless Regional Area Network, WRAN) [16]. Это предполагает покрытие зон радиусом в десятки километров. Спецификация позволяет провайдерам интернет-услуг обеспечить жителям сельских районов доступ к широкополосному доступу в Сеть там, где его еще нет. Увеличение радиуса действия удалось достичь благодаря уменьшению рабочих частот, обычно используемых в Wi-Fi, WiMax или LTE для передачи информации. Подбор оптимальных частот зависит от многих факторов. Для обеспечения наибольшей дальности с сохранением разумной мощности и приемлемой полосы пропускания лучшим образом подошли частоты диапазона от 54 до 862 МГц, так называемые телевизионные частоты. Ширина полосы одного телевизионного канала в США, Японии и большей части Центральной и Южной Америки составляет 6 МГц, для России и большинства других стран эта величина равна 8 МГц, но встречаются также стандарты с 7-мегагерцовой полосой, например в Австралии, Бельгии и Люксембурге. Поэтому в 802.22 предполагается использовать ширину полосы одного канала в 6 (8,7) МГц [17].

Существующая система телевидения может служить примером успешного использования этого диапазона для покрытия больших площадей. К тому же

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

данным частотам не страшны стены и препятствия. Однако в использовании ОВЧ/УВЧ есть и недостаток: меньшие частоты (длинные волны) нуждаются в более габаритных антенных системах. Кроме повсеместно используемых систем аналогового телевидения NTSC (США, Канада, Япония), PAL (Европа), SECAM (Франция, Греция, Россия) диапазон официально закреплен за радиосвязью государственных служб (полиции, противопожарной службы и т. д.) и коммерческих сервисов (такси и т. д.). В данной полосе также работают беспроводные микрофоны, системы цифрового телевидения ATSC/DVB-T и различные иные устройства, работе которых не должна мешать данная технология. Стандарт 802.22 является первым в мире стандартом, использующим когнитивные технологии для совместного использования оптимального частотного диапазона и не требует оформления лицензий на использование определенных частот.

Также в настоящее время существуют или разрабатываются и другие стандарты, такие как:

IEEE 802.11af. Начало разработки – январь 2010 г. Основная цель – адаптация семейства стандартов IEEE 802.11 к ТВ-полосам частот [18]. При этом вопросы работы данных устройств базой данных для реализации механизма геолокации находятся вне рамок стандарта. Рассматриваются два возможных варианта использования устройств данного стандарта:

- внутри помещения с дальностью менее 100 м (аналогично существующим WLAN);
- вне помещений с дальностью работы не более 5 км.

Стандарт IEEE 802.11af оценивается как наиболее обещающий, поскольку в его разработке активно участвуют производители чипов. Как ожидается, сертификация устройств по данному стандарту начнется уже в ближайшее время .

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

IEEE 802.16h. Первоначально нацеленный на адаптацию стандарта IEEE 802.16 к полосе частот 3650–3700 МГц, данный стандарт в настоящее время адаптируется и к ТВ-полосам частот [19].

ECMA-392. Стандарт для персональных/портативных устройств, функционирующих в «белых пятнах» частотно-территориального ресурса (White Space Devices, WSD). Описывает физический уровень (PHY) и уровень MAC, включая протокол обмена и механизмы обеспечения совместимости. Оборудование на базе данного стандарта может вскоре появиться на рынке, однако при этом нельзя не отметить, что ECMA-392 является закрытым стандартом, а значит, число производителей оборудования будет ограничено.

2.6. Функциональная совместимость когнитивных радиосистем

Как было сказано ранее, CR системы – это высокоскоростные беспроводные платформы, способные к автономному изменению своих рабочих параметров, основанных на окружающей их обстановке. Следовательно, у CR систем есть потенциал, чтобы произвести революцию в области беспроводных сетей. Например, CR системы позволяют радиостанциям, работать с различными протоколами и стандартами, чтобы взаимодействовать друг с другом. Этот принцип известен как *функциональная совместимость*. Кроме того, CRs способны к передаче сигналов в незанятом спектре, при минимизации взаимных помех с другими устройствами в соответственной спектральной близости; то есть могут обеспечить DSA – динамический доступ к спектру.

На сегодняшний день, множество стандартов беспроводной мобильной связи, приложений, и услуг используются в различных секторах современного общества, а так же как в пределах специальных государственных служб, таких как вооруженные силы, органы государственной безопасности, и аварийно-

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

спасательные службы. Вследствие этого, использование множества потенциально несовместимых стандартов связи в пределах некоторой области могут серьезно повлиять на эффективность координации операционных процессов. Например, эффективность аварийно-спасательных служб, во время устранения последствий урагана Катрина в Новом Орлеане в течение августа 2005 была сильно затруднена из-за неспособности развернутого в широком диапазоне коммуникационного оборудования взаимодействовать друг с другом, особенно в пределах действия децентрализованной окружающей радиообстановки, которая показана в таблице 1, где члены различных ведомств используют коммуникационные стандарты, несущие частоты которых отличаются друг от друга и вследствие этого затрудняют коммуникационные процессы между ними.

Таблица 2.1 - Пример использования службами различных частот в пределах одной и той же географической области и различных потенциально несовместимых стандартов связи.

Государственные ведомства	Используемые стандарты
Служба спасения	А
Полиция	Б
Армия	В

Таким образом, если различные службы не будут скоординированы относительно операционных параметров и коммуникационных стандартов друг относительно друга, эффективная коммуникация между ними будет практически невозможна.

Тем не менее, существуют некоторые причины, почему такие отрасли как вооруженные силы и государственная безопасность все еще используют относительно широкий диапазон для своих коммуникационных решений, такие как необходимость в значительных финансовых инвестициях и конкретных

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

требованиях к рабочим характеристикам устройств. Системы CR в свою очередь обладают потенциалом, чтобы минимизировать затруднения относительно коммутации между различными отраслями, использующими различное оборудование и различные стандарты связи.

Благодаря своей способности быстро принимать любую доступную радио-конфигурацию, платформы CR могут перенастраивать себя под любой, даже устаревший коммуникационный стандарт предыдущих поколений связи, для того, чтобы взаимодействовать с любыми системами местной связи или облегчить связи между двумя платформами не использующими технологии CR, но в то же время использующих различные стандарты связи.

Кроме того, CR система с ее встроенным искусственным интеллектом может автоматически распознавать различные стандарты связи при отсутствии любого централизованного контроля из вне.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

3 ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ КОГНИТИВНОГО РАДИО

3.1. Определение оптимального метода для достижения множественного доступа

С увеличением спроса на дополнительную пропускную способность для поддержания существующих и внедрения новых услуг организации по распределению спектральных ресурсов и коммуникационным технологиям ищут возможные решения для очевидного решения проблемы с дефицитом спектра.

В то же время, измерительные исследования показали, что большая часть имеющего лицензию спектра является относительно неиспользованной относительно времени и частоты. Однако, текущие нормативные требования запрещают нелицензированную передачу в этих частотных областях, ограничивая их.

Для обеспечения необходимой полосы пропускания, требующейся для текущих и будущих беспроводных услуг и приложений, необходимо провести работу над концепцией о неимеющих лицензию вторичных пользователей, «заимствующих» спектр у лиц, имеющих лицензию на данную спектральную область – первичных пользователей. Данный подход к спектральному использованию известен как динамический доступ к спектру. С учетом последних разработок в технологиях CR, для этих систем стало возможным одновременно соблюдения права обладающих лицензией пользователей, обеспечивая при этом дополнительную гибкость и доступ к спектру.

Кроме того, существуют участки спектра, которые являются незанятыми в течение существенного промежутка времени, что делает их подходящими кандидатами для вторичного использования неимеющими лицензии

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

беспроводными устройствами в рамках DSA. Однако, получая доступ к таким незанятым частотным диапазонам, вторичное беспроводное устройство должно гарантировать, что оно не мешает функционированию устройства основного пользователя. Вмешательство или интерференция может произойти в том случае, когда излучения вторичного устройства вне частотного диапазона (OOB) превышают допустимые уровни, загрязняя передачу устройства первичного пользователя если они расположены относительно близко друг друга в частотной области. Одновременно, учитывая изменяющуюся во времени природу беспроводной сети передачи данных, спектр, который может быть незанятым в один момент времени, потенциально мгновенно может стать занятым в следующий момент времени. Следовательно, платформа CR должна быть осведомлена и быть способной к мгновенной реконфигурации, для того, чтобы предотвратить вмешательство вторичного пользователя в передачу данных основного пользователя, тем самым не создавая для него никаких неудобств.

Для достижения высокой спектральной эффективности, методы множественного доступа могут использоваться таким образом, что несколько вторичных пользователей смогут передавать данные в пределах одного и того же самого диапазона частот.

Для достижения множественного доступа вторичных пользователей наиболее перспективным является метод OFDM, который используется во всех разрабатываемых передовых стандартах когнитивных радиосистем. Важно отметить, что OFDM используется также в цифровых системах ТВ вещания, что делает его привлекательным для использования когнитивными системами в данном частотном диапазоне [20]. Относительно методов на основе OFDM, спектральное объединение может быть эффективно использовано, когда данные передаются через незанятые участки частоты с использованием множества активных поднесущих.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

3.2. Преимущества метода OFDM

Применение мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов для когнитивного радио создает новые аспекты при проектировании систем. После того, как необходимая информация становится доступной, решающее устройство может сделать вывод о том, какое направление действий будет лучшим для системы. Решение включает в себя выбор подходящего канального кодирования, модуляции, рабочих частот и пропускной способности. На данном этапе, технология мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов берет верх над другими аналогичными технологиями передачи с её адаптивными возможностями и большой гибкостью. Путем изменения только параметров конфигурации, когнитивная система может взаимодействовать с различными технологиями радиодоступа в окружающей среде, или может оптимизировать передачу в зависимости от характеристик среды.

Также OFDM проявляет себя с сильной стороны в некоторых требованиях, необходимых для когнитивных радиосистем, которые представлены в таблице 11.

Таблица 3.1 - Преимущества OFDM для когнитивного радио

Требования	Преимущества OFDM
Спектральное зондирование	Присущие операции БПФ в OFDM облегчают считывание спектра в частотной области.
Эффективное использование спектра	Форма волны может быть легко сформирована простым отключением некоторых поднесущих, при существовании первичных пользователей.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

Окончание таблицы 3.1

Адаптируемость	OFDM- системы могут быть адаптированы к различным условиям передачи и имеющимся ресурсам. Некоторые параметры включают в себя: размер БПФ, интервал поднесущих, вид модуляции, способ кодирования.
Передовые технологии антенн	Методы Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) со множеством выходов и множеством входов обычно используются в OFDM , главным образом, из-за уменьшенной сложности эквалазации . OFDM также поддерживает интеллектуальные антенные технологии.
Функциональная совместимость	Совместим с беспроводными локальными сетями (WLAN) (IEEE 802.11) , WMAN (IEEE 802.16) . WRAN (IEEE 802.22) , WPAN (IEEE 802.15.3a) все они используют OFDM в качестве своих методов на физическом уровне PHY, достижение совместимости становится легче по сравнению с другими технологиями .
Множественный доступ и спектральное распределение	Поддержку многопользовательского доступа уже унаследовали системы путем присвоения групп поднесущих различным пользователям (OFDMA)
Иммунитет к узкополосной интерференции	NBI затрагивает лишь некоторые поднесущие в системах OFDM. Эти поднесущие могут быть просто выключены.

Исходя из этого метод OFDM является наиболее перспективным для технологий когнитивного радиодоступа. Также он интересен для рассмотрения с точки зрения того, что он уже используется в цифровых системах ТВ вещания, что дополнительно облегчает внедрение когнитивных устройств в полосу частот, выделенную для телевидения.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

3.3. Проблемы, связанные с регулированием когнитивного доступа к спектру

Чтобы лучше понять динамику, которая задает рынку направление в сфере распределения спектральных ресурсов, важно отметить, что предложение спектра ограничено, в то время как спрос на спектр постоянно увеличивается. Этот постоянно увеличивающийся спрос основан на четырех факторах, которые сосредоточены на удовлетворении личных человеческих или общественных потребностей. Эти потребности включают ненасытную человеческую тягу к общению с другими всеми доступными способами и во всех доступных формах - голос, текст, музыка, видео, а также получать информацию о кажущемся бесконечном разнообразии тем. Компании требуют непрерывного повышения эффективности при проведении сделок, на которых основывается их бизнес и информацию об их клиентах, партнерах, и поставщиках, чтобы улучшить понимание того, как их продукты и услуги могут быть лучше оптимизированы, чтобы удовлетворить потребности клиента и увеличить собственную прибыль. Военные и аварийные службы нуждаются в информировании в реальном времени, чтобы лучше планировать, координировать, оценивать и предотвращать различные негативные ситуации. Наконец, правительство и неправительственные организации социального обеспечения и общеобразовательные организации стремятся улучшить свою эффективность и эффективность предоставления своих услуг [21].

Четыре элемента можно охарактеризовать как:

Приложения. Количество и разнообразие различных радио-приложений, фактически неограниченных по своему функционалу, развивается огромными темпами и проникает в каждую сферу человеческой деятельности. Например, к ним относят: широковещательные коммуникации - телевидение, радио, коммерческие коммуникации - аварийно-спасательные службы, промышленные

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

коммуникации и средства управления флотом, аэронавигационные коммуникации, военные коммуникации, персональные коммуникации - сотовые телефоны, беспроводные сети, спутниковые коммуникации.

Покрытие. Необходимость предоставлять услуги постоянно увеличивающейся аудитории и устранять любые пространственные ограничения в использовании приложений.

Рабочий цикл. Самыми популярными из этих приложений человек будет пользоваться все большее количество времени, в конечном счете он станет практически круглосуточно на связи со всем миром. Ярким примером тому служат социальные сети.

Предоставление. Мало того, что приложения развертываются все более широкой аудитории и используются все более продолжительные промежутки времени, спрос на постоянно увеличивающийся уровень производительности для популярных приложений требуют увеличения выделенной спектральной полосы пропускания, так как существует прямая корреляционная зависимость между выделенной полосой пропускания и устойчивой скоростью передачи данных, которую может поддерживать канал. В самой простой форме это описывается формулой Найквиста:

$$C = 2B \text{ (для двоичных сигналов)} \quad (3.1)$$

$$C = 2B \text{ (для двоичных сигналов)} \quad (3.2)$$

или

$$C = 2B \log_2(M) \text{ (для многоуровневых сигналов)}, \quad (3.3)$$

где C – пропускная способность, B - полоса пропускания, а M является количеством сигнальных уровней.

Основываясь на фундаментальном экономическом законе спроса и предложения, с ограниченным предложением спектра и постоянно увеличивающимся спросом на этот спектр, ценность спектра увеличивается и

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

продолжит повышаться; и это повышение будет непосредственно связано с увеличивающимися требованиями. Также, неудивительно, что весь радиочастотный спектр был полностью поделен и распределен в течение некоторого промежутка времени. Поэтому, с появлением новых приложений создаются трудности в выделении спектральной полосы для занятия этими приложениями. Какое – то время спектрально ресурса было достаточно для того, чтобы каждое отдельное приложение могло быть закреплено за какой-либо уникальной полосой частот. Позже, регулирующие оценочные органы были обязаны признать, что существующее распределение приложений должно быть изменено, перемещено, или существенно сокращена занимаемая им спектральная полоса, которая могла бы оптимально использоваться существующими приложениями [22]. Это, безусловно, чрезвычайно трудная задача.

Эта возрастающая сложность является основной движущей силой двух доминирующих тенденций, которые изменили условия управления и распределения спектра с начала 1980-ых. Первое, как уже было упомянуто, а именно, переход правительством на новую систему распределения спектральных ресурсов называемую аукционами. Этот рыночный подход в настоящее время расширяется, чтобы юридические лица, которые получили спектральные ресурсы, могли перепродать или сдавать в аренду эти ресурсы другим на долгосрочной или кратковременной основе. При использовании таких методов предполагалось, что рынки должны двигаться в направлении тех пользователей, которые больше других ценят предоставляемый им спектр, тем самым потенциально минимизируя неэффективное использования либо простаивание без дела определенных полос частот.

Регуляторы также отложили в сторону увеличение количество спектра для нелицензированного доступа, иногда также известного как освобожденного от лицензии или свободного для пользования спектра. Эти спектральные группы не лицензируют ни для каких юридических лиц, но они доступны всем, кто подходит

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

под правила доступа, которые, преимущественно, ограничивают уровни мощности устройств, чтобы минимизировать вероятность помех. Такие группы оказались очень ценными для использования, такими технологиями как WiFi, Bluetooth, помечающего радио (RFID), и широким диапазоном потребителей продуктов для собственных домов, таких как дистанционное открывание дверей гаража, радионянь и других. Наиболее широко используемая группа для не имеющих лицензию устройств в США расположилась в 2.4 ГГц диапазоне, но многочисленные новые группы в 5-6 ГГц теперь стали доступны во всем мире для новых приложений.

Основываясь на предложениях, описанных ранее, важно рассмотреть вопросы регулирования и доступные варианты решения возможности когнитивного доступа к спектру.

Как было обсуждено ранее, в каждом государстве доступ к спектральным областям предоставляют специальные национальные государственные органы. Регулирующие органы обеспечивают выдачу лицензий или освобождают конкретные типы устройств от необходимости иметь лицензии. Следовательно, когнитивный доступ в коммерческом спектре считается незаконным, до тех пор, пока он не будет включен регулирующими органами в списки устройств с определенными условиями использования, при которых мог бы быть развернут этот вид технологии.

Регулирующие органы могут применять множество различных подходов к вопросам когнитивного доступа, включая:

- Решение не допускать данные устройства к использованию.
- Предоставление возможности текущим владельцам лицензий позволять когнитивный доступ в их собственных частотных диапазонах, если те, в свою очередь, пожелают это сделать.
- Лицензирование когнитивного доступа для определенных полос частот.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

■ Освобождение когнитивных устройств от необходимости в лицензировании с соответствующими ограничениями на их использование.

Подход, который выбирает каждый регулирующий орган, во многом зависит от некоторой степени философии собственника спектра, и в некоторых случаях исполнения законных прав на осуществление его использования [23]. Первое решение, на которое следует обратить внимание это то, является ли регулирующее вмешательство уместным и законным. Некоторые могли бы утверждать, что спектр – это собственность государства и только оно решает, каких дополнительных пользователей включать в ту или иную полосу частот. Другие могли бы считать, что купив региональную или национальную лицензию, оператор вправе распоряжаться своей частью спектра как он желает, в том числе сдавать его в субаренду или предоставлять право доступа другим пользователям. Регулирующие органы, которые склоняются к абсолютным правам владельца собственности, позволили бы держателям лицензий сдавать спектр в субаренду или распоряжаться им как они того пожелают.

Те же, кто предпочитает государственную модель, будут склонны к лицензированию любых пользователей спектра, а тех, кто им пользуется неактивно лишать лицензий или сокращать выделяемые им полосы.

Также имеют место быть различные интерпретации для различных диапазонов частот. Например, во многих странах телевизионные передатчики лицензируются на географической основе, с лицензией, которая выдается на отдельные телевышки. Результатом этого является то, что существуют географические области между вышками, где существуют участки спектра не лицензированные ни для кого и это часто называют *пробелом* или *белым пятном*. Этот не находящийся в собственности спектр можно использоваться по-разному, потому что не существует владельца, с кем пользователи пробела могли бы заключить сделку, кроме, возможно, регулирующих государственных органов. Следовательно, для таких участков спектра могли бы ожидаться различные

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

решения, по сравнению со спектром, который лицензируется на региональном или национальном уровнях.

На практике, немногие в настоящее время представляют себе, что пользователи когнитивных технологий могут успешно вести переговоры о доступе к спектру от имеющих лицензию пользователей. Имеющие лицензию пользователи, несомненно, потребуют некоторой компенсации для обеспечения этого права, которая увеличила бы трудности в создании деловых документов для ситуаций использования когнитивного доступа. Имеющий лицензию пользователь мог бы также решить, что деловые и технические риски слишком высоки или усилия, для предоставления кому-либо своей части спектра неоправданно завышены.

Тем не менее, окончательным решением обладают государственные органы, которые будут решать, разрешать ли когнитивный доступ к участкам спектра или нет. Данные органы должны выбрать наиболее выгодный и полезный для своей страны способ распределения этих ресурсов. Но, на этой ранней стадии развития когнитивного доступа, не совсем ясно, как скоро это произойдет. Поскольку имеется большое количество сторонников данной технологии, то лицензирующие органы также способствуют продвижению решений по данной проблеме. Тем не менее, это измениться в будущем и для разных диапазонов частот могут быть приняты разные подходы.

3.4. Определение правил использования когнитивных устройств

Если регулирующие органы примут решение позволить использовать когнитивный доступ к особой группе частот, то, возможно, телевизионные частоты станут следующим шагом на пути установления правил их использования. Регулирующие органы стремятся разработать правила входа,

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

которые гарантируют очень низкую вероятность помех, создаваемых для имеющих лицензию пользователей спектральных полос, в то же самое время создавая минимум ограничений для когнитивных устройств. Регулирующим органам также стоит сосредоточиться на потенциальной интерференции между когнитивными устройствами, так как объемы их использования увеличиваются. Избегание интерференции в принципе является очень сложной технической проблемой.

Например, если когнитивные устройства будут основаны на технологии, которая измеряет существующие уровни мощности сигнала, чтобы определить, используется ли конкретный канал в настоящее время, то регулирующие органы должны определить те уровни, при которых устройству следует считать канал свободным, чтобы гарантировать низкую вероятность помех [24]. Следовательно, определение пороговых значений уровня сигнала является достаточно сложной задачей для когнитивных устройств, поскольку существует ряд трудностей, которые влияют на корректность определения уровня сигнала. Эти различия зависят от местных условий, существования различных динамических преград – движущиеся крупногабаритные объекты, которые кратковременно блокирует сигнал, затрудняя правильность его приема и других факторов. Каждая отдельная ситуация представляет особое пространство, время, и частоту, отличающиеся друг от друга, затрудняя любое определение сигнала. Вместо этого широко распространены измерения и моделирования кампаний, которые часто используются, чтобы получить наилучшую оценку на основе понимание возможного диапазона мощности сигнала в определенной географической области.

Все это, как правило, считается довольно спорным. Должностные лица вынуждены будут искать максимальные уровни защиты от помех и, следовательно, моделировать возможные ситуации, где проблема скрытых узлов или другие проблемы модификации сигнала являются чрезвычайными. Даже

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

урегулирование соответствующего уровня вероятности появления помех может быть чревато трудностями. Кроме того, необходимо принятие множества других правил, в том числе определения максимально возможной мощности сигнала в определенной частотной полосе, пределы внеполосной мощности сигналов, полосы пропускания, управления мощностью передатчика, периодичность сканирования диапазонов и многих других. Однако, они могут быть значительно упрощены, поскольку они являются главным образом теми параметрами, к которым регулирующие органы обращаются для каждой отдельной группы или технологии, которую они рассматривают.

3.5. Нормативно-правовые положения различных методов когнитивного доступа

На сегодняшний день были предложены три обширные технологии, для определения свободных от использования полос. Это технологии измерения чувствительности к изменениям уровня мощности сигналов, зондирование спектра, и геолокационные технологии, которые могут использоваться как по отдельности так и в сочетании с другими, чтобы достичь желаемого уровня уверенности в достижении низкого уровня помех и высокой эффективности.

Географические базы данных

Альтернативным вариантом сканирования радиочастотной окружающей обстановки для когнитивного устройства, чтобы точно определять его местоположение и иметь доступ к базе данных с перечисленными частотами, которые позволено использовать в различных местоположениях, являются базы данных для определенных территорий. Это позволяет преодолеть нормативно – правовые вопросы, связанные с определением пороговых значений мощности сигналов, но приводит к другим регулирующим вопросам, таким как:

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

■С какой точностью устройство должно знать свое местоположение?

■Кто будет поддерживать базы данных? Будет ли это один поставщик для всех диапазонов или же это будут отдельные базы данных для определенных групп? Какие коммерческие договоренности возможны при этом? Могут ли возникнуть монополистические проблемы?

■Какая степень доступности необходима для баз данных?

■Как будут обновляться версии баз данных? Как часто они должны это делать? Какая нагрузка на спектр может быть в результате?

■Что можно сказать о динамическом использовании спектра, которое применяется только иногда?

Использование баз данных действительно обладает одним интересным преимуществом для регулирующих органов: способность контролировать нелегализуемые устройства таким образом, который был невозможен прежде. Так, например, регулирующие органы, которые желают удалить все когнитивные устройства от полосы в определенной местности, могут легко сделать это, установив все частоты в базе данных как занятые. Когнитивные устройства тогда станут неспособны передавать информацию на этой географической местности. В качестве альтернативы, регулирующие органы могут выделить когнитивным устройствам свободный спектр или контролировать определенные типы когнитивных устройств, осуществляя реализацию различных правил для устройств с различными возможностями [25].

Принцип спектрального зондирования

Такой подход требует передачи сигнала от некоторой соответствующей инфраструктуры, которая будет предоставлять информацию о доступных частотах для когнитивных устройств, находящихся в непосредственной близости. Когнитивные устройства настраиваются на этот канал и используют информацию, при условии выбора ими соответствующей частоты. Данный принцип можно рассматривать как централизованную базу данных, с таким

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

выбором местоположения, чтобы существовала возможность достигать определенных источников передачи. Если когнитивное устройство по каким-либо причинам становится неспособным найти маяк, то самым безопасным вариантом для него станет прекратить любую передачу информации, так как эта передача может быть в области покрытия маяка, но в то же время не будет им приниматься, что может привести к различного рода помехам.

В то время как данный способ способен решить проблему с определением свободных спектральных полос на определенной прилегающей к нему территории, он также создает большое количество проблем другого рода:

■ Кто будет предоставлять сигнал с радиомаяка? Как предоставить коммерческие договоренности, и если будет существовать только один поставщик, создадутся ли проблемы конкуренции или монополизации?

■ Как информация о лицензированных частотах будет обновляться на радиомаяках, особенно в тех случаях, когда лицензированные услуги быстро меняются?

■ Какой спектр будет выделен для радиомаяков?

■ Какие технические параметры и протоколы будут использоваться передатчиком радиомаяка?

■ Как предотвратить распространение сигнала от радиомаяка за пределы территории, отведенной для него, тем самым предотвратить помехи в соседних с ним секторах? И наоборот, как удостовериться, что он будет доступен для всех когнитивных устройств в целевой области?

■ Должно ли быть количественное разделение радиомаяков для отдельных диапазонов частот или же возможно применение одного маяка для всех частотных групп, в которых разрешен когнитивный доступ?

■ Является ли приемлемой для использования когнитивных устройств ситуация, когда радиомаяк выходит из строя или прекращает передачу на какой-либо промежуток времени?

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Данный подход является достаточно сложным в реализации и создает большое количество трудностей. Частично основанный на этих вопросах подход размещения радиомаяков не произвел большой интерес на регулирующее сообщество и до настоящего времени вопросы по данным проблемам малоисследованы на регулирующем уровне.

3.6. Принципы использования высвобожденного спектра

Рассматривая варианты будущего использования полос частот для получения освобожденного спектра и оценивая будущие потребности в спектре для использования радиовещательными и подвижными службами, целесообразно сосредоточиться на создании эффективной среды передачи, доступной для населения в целом, а особенно – для людей, проживающих в районах с низкой плотностью населения. При определении потребностей в радиочастотном спектре для использования радиовещательными и подвижными службами следует иметь в виду, что в районах с низкой плотностью населения одни типы контента эффективнее передавать по радиовещательным каналам, а другие – по каналам подвижной связи. Следует продолжать развитие радиочастотного спектра для радиовещательных служб, с тем чтобы обеспечить возможность доставки контента с использованием различных технологий радиосвязи.

Существуют некоторые принципы, придерживаться которых необходимо для эффективного использования освободившегося радиочастотного ресурса.

Принципы рационального использования высвобожденного частотного ресурса представлены в таблице 3.2:

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

Таблица 3.2 - Принципы рационального использования высвобожденного частотного ресурса.

Принцип	Группа	Описание
Ограничение высвободившегося частотного ресурса	Технические принципы	Радиочастотный ресурс – это ограниченный природный ресурс, обладающий рядом характеристик. Это значит, что в определенных случаях (например, в случае освобождения полос в ТВ спектре) невозможно удовлетворить все потребности рынка услуг электросвязи в радиочастотном спектре. Отсюда необходимость в совместном использовании ресурса различными службами электросвязи или в распределении высвободившегося радиочастотного ресурса более важной службе
Требование обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) между радиоэлектронными устройствами различных служб электросвязи	Технические принципы	Распределение спектра различным службам радиосвязи обуславливает необходимость в обеспечении ЭМС между радиочастотными устройствами различных служб электросвязи. Несоблюдение принципов ЭМС может привести к снижению качества обслуживания вплоть до полной невозможности оказания услуг
Требование координации между соседними странами в вопросах использования высвободившегося радиочастотного ресурса	Технические принципы	Радиочастотный ресурс одной и той же полосы частот может использоваться в разных странах различными службами электросвязи. В частности, высвобожденный спектр можно использовать для цифрового телевидения

Продолжение таблицы 3.2

<p>Необходимость внедрения новых технологий радиосвязи</p>	<p>Регуляторные принципы</p>	<p>Разработка государственной политики по внедрению новых технологий радиосвязи, более эффективно использующих радиочастотный ресурс, – ключевой фактор, способствующий высвобождению новых ресурсов, таких, например, как высвобожденный в ТВ частотах спектр. Кроме того, новые технологии могут способствовать появлению принципиально новых услуг, которые невозможны при имеющихся технологиях</p>
<p>Необходимость внедрения новых услуг электросвязи</p>	<p>Регуляторные принципы</p>	<p>Этот принцип следует из предыдущего. Рынок услуг электросвязи растет быстрыми темпами, и следует поощрять появление на нем новых видов услуг, которые способствуют усилению конкуренции и более эффективному использованию радиочастотного спектра</p>
<p>Обеспечение конкурентной среды на рынке услуг электросвязи</p>	<p>Социально-экономические принципы</p>	<p>Рыночная конкуренция за право использования ограниченного радиочастотного ресурса с учетом государственных приоритетов и ограниченности срока действия лицензий на радиочастоты способствует соблюдению принципа необходимости внедрения новых и модернизации нынешних технологий электросвязи</p>

						<p><i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i></p>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			58

Соблюдение изложенных принципов позволит рационально использовать высвободившийся частотный ресурс для достижения основной цели управления использованием спектра – получению максимальной социально-экономической выгоды от использования радиочастотного спектра в условиях отсутствия помех.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

4 АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРА В СИСТЕМАХ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ БЕЛГОРОДСКОГО РЕГИОНА

4.1. Анализ эффективности использования спектра в системах телерадиовещания Белгородского региона

Электромагнитный спектр, и в особенности так называемая радиочастотная составляющая этого спектра, быстро становятся одними из самых ценных природных ресурсов нашей планеты. У спектра нет никакой физической формы, спектр не обеспечивает население питанием, и не является источником энергии, но все же он рассматривается как достаточно ограниченный и ценный ресурс, за который фактически борются огромное количество различных операторов мобильной связи по всему миру.

Радиочастотная составляющая спектра является частью общего электромагнитного спектра, который простирается примерно от нуля до почти 3×10^{27} Гц (циклов в секунду). В этом широком диапазоне, диапазон примерно от 10 кГц до 300 ГГц обычно описывается как радиочастотный спектр, нижние границы которого относят к ультразвуковым, а верхние к СВЧ [26].

Предложение использовать «интеллектуальные функции» радиоэлектронных средств (РЭС) для оптимального выбора радиоинтерфейса и приложений, выдвинутое в 1998 г. американским исследователем Джозефом Митола (Joseph Mitola), в настоящее время практически может быть реализовано в телевизионных полосах частот. Связано это, с одной стороны, с особенностями частотного планирования наземных сетей ТВ-вещания, когда существует возможность между мощными ТВ-станциями дополнительно устанавливать маломощные РЭС, а с другой стороны – с внедрением цифрового вещания,

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

имеющего более высокую помехоустойчивость по сравнению с аналоговым вещанием и, соответственно, позволяющего эффективнее расходовать радиочастотный спектр (РЧС).

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

Для рассмотрения была выбрана западная часть Белгородской области с диапазоном УВЧ с занимаемой полосой радиочастот 470-790 МГц, т.е. IV и V диапазоны телевизионного вещания, занимающие 39 каналов ТВК начиная с 21 и заканчивая 60 [27]. ТВК 60- 69 не рассматривались, так как в России данный диапазон частот 791-862 МГц отведен для использования LTE сетей.

В настоящее время в западной части Белгородской области работает два частотных мультиплекса, каждый из которых занимает полосу в 8 МГц.



Рисунок 4.1 - Организация цифрового наземного телевидения в западной части Белгородской области 1 мультиплекс.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

Таблица 4.1 - Объекты цифрового вещания пакета РТРС-1.

№ п/п	Район	Пункт установки объекта цифрового вещания	ТВК	Центральная частота, МГц	Мощность передатчика, кВт
1	Грайворонский	Грайворон	43	650	1,000
3	Шебекинский	Шебекино	43	650	0,100
9	Корочанский	Ломово	43	650	0,500
13	Ракитянский	Ракитное	43	650	5,000
14	Белгородский	Белгород	43	650	5,000
15	Прохоровский	Кожанов	43	650	1,000
17	Ивнянский	Ивня	43	650	0,250
18	Борисовский	Борисовка	43	650	0,250
20	Белгородский	Нехотеевка	43	650	0,250

Первый мультиплекс занимает полосу, исходя из таблицы частот телевизионных радиоканалов для 43 ТВК, равную 8 МГц в диапазоне 646,0 - 654,0МГц.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63



Рисунок 4.2 - Организация цифрового наземного телевидения в западной части Белгородской области 2 мультиплекс.

Таблица 4.2 - Объекты цифрового вещания пакета РТРС-2.

№ п/п	Район	Пункт установки объекта цифрового вещания	ТВК	Центральная частота, МГц	Мощность передатчика, кВт
1	Белгородский	Белгород	46	674	5,000

Второй мультиплекс занимает полосу, исходя из таблицы частот телевизионных радиоканалов для 46 ТВК, равную 8 МГц в диапазоне 670,0 - 678,0 МГц

В перспективе рассматривается создание третьего мультиплекса который будет располагаться на частотах 39 ТВК.

На данный момент в Белгородском районе сохраняется также и аналоговое телевидение, список каналов и соответствующих частот которого представлен в таблицах 4.3 и 4.4 [28]:

Таблица 4.3 - ТВ вещание аналоговых телеканалов.

Район	Пункт установки объекта вещания	ТВК	Название	Мощность передатчика, кВт
Белгородский	Белгород	27	НТВ	1
Белгородский	Белгород	29	РоссияК /Euronews	1
Белгородский	Белгород	34	Матч ТВ	0,5
Белгородский	Белгород	37	СТС	0,4
Белгородский	Белгород	39	Домашний / Мир Белогорья	1
Белгородский	Белгород	41	Канал Disney	1
Белгородский	Белгород	44	ТВЦ	0,5
Белгородский	Белгород	47	Че	0,1
Белгородский	Белгород	50	Звезда	1
Белгородский	Белгород	59	Пятый канал	1

Таблица 4.4 Соответствие частотных диапазонов для аналоговых ТВК.

Канал	Полоса частот радиоканала, МГц
ТВК 27	518,0 - 526,0
ТВК 29	534,0 - 542,0

Окончание таблицы 4.4

ТВК 34	574,0 - 582,0
ТВК 37	598,0 - 606,0
ТВК 39	614,0 - 622,0
ТВК 41	630,0 - 638,0
ТВК 44	654,0 - 662,0
ТВК 47	678,0 - 686,0
ТВК 50	702,0 - 710,0
ТВК 59	774,0 - 782,0

Исходя из представленных данных, можно вычислить: общую полосу, выделенную для ТВ вещания; полосу, занимаемую цифровым вещанием; полосу, занимаемую аналоговым вещанием; свободную полосу, доступную для использования когнитивными устройствами.

Зная, что выделенная для ТВ вещания полоса ДМВ IV начинается с ТВК 21 на частоте 470 МГц, и заканчивается в ДМВ V ТВК 60 на частоте 790 МГц, можно вычислить размер общей выделенной для ТВ вещания полосы:

$$\Delta F_o = F_{max} - F_{min} , \quad (4.1.)$$

где ΔF_o – общая выделенная полоса, F_{max} – верхняя граница выделенной полосы частот, F_{min} – нижняя граница выделенной полосы частот.

$$\Delta F_o = 790 - 470 = 320 \text{ (МГц)}$$

Зная, что цифровое вещания насчитывает 2 мультиплекса, которые занимают полосы по 8 МГц каждый, найдем размер полосы, занимаемой цифровым телевидением:

$$\Delta F_{ц} = k_{ц} \cdot f_{ц} , \quad (4.2.)$$

где $\Delta F_{ц}$ – полоса, занимаемая цифровым вещанием, $k_{ц}$ – количество цифровых мультиплексов, $f_{ц}$ – полоса, занимаемая одним мультиплексом.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

$$\Delta F_{\text{ц}} = 2 \cdot 8 = 16 \text{ (МГц)}$$

Зная, что аналоговое вещание до сих пор сохраняется и каждый канал в нем занимает полосу в 8МГц, найдем общий размер полосы, занимаемый аналоговым ТВ вещанием:

$$\Delta F_{\text{а}} = k_{\text{а}} \cdot f_{\text{а}}, \quad (4.3.)$$

где $\Delta F_{\text{а}}$ – полоса, занимаемая аналоговым вещанием, $k_{\text{а}}$ – количество аналоговых каналов, $f_{\text{а}}$ – полоса, занимаемая одним аналоговым каналом.

$$\Delta F_{\text{а}} = 10 \cdot 8 = 80 \text{ (МГц)}$$

Зная общий размер используемых полос для цифрового и аналогового ТВ вещания, а также размер выделенной для этих целей полосы, найдем свободную полосу, которая может быть доступна для использования когнитивными устройствами:

$$\Delta F_{\text{с}} = \Delta F_{\text{о}} - \Delta F_{\text{ц}} - \Delta F_{\text{а}}, \quad (4.4.)$$

где $\Delta F_{\text{с}}$ – свободная незанятая полоса, которая может быть доступна для использования когнитивными устройствами.

$$\Delta F_{\text{с}} = 320 - 80 - 16 = 224 \text{ (МГц)}$$

Также можно определить доступные для использования каналы и, соответственно, диапазоны незанятых частот, которые представлены в таблице 4.5.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Таблица 4.5 - Полосы частот доступные для нелицензионного использования в Белгородском районе на данный момент.

Канал	Частоты, МГц	Общее число свободных каналов
21-26	470-518	28
28	526-534	
30-33	542-574	
35-36	582-598	
38	606-614	
40	622-630	
42	638-646	
45	662-670	
48-49	686-702	
51-58	710-774	
60	782-790	

В перспективе полного перехода на цифровое телевидение, с появлением третьего мультиплекса свободная полоса способна увеличиться до 296 МГц, и количество свободных каналов увеличится до 37 за счет отключения аналогового вещания.

На рисунке 4.3 красным цветом показаны занятые каналы, зеленым - свободные на текущий момент каналы, желтым - освобождающиеся в случае полного перехода на цифровое телевидение каналы.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60

Рисунок 4.3 – Занятые, свободные, освобождающиеся каналы.

Кроме этого, также существуют профилактические работы на передающем цифровом и аналоговом радиотелевизионном оборудовании Белгородского ОРТПЦ, даты и время которых на 2016 год представлены в таблице 4.6:

Таблица 4.6 - График плановых остановок технических средств теле- и радиовещания филиала РТРС "Белгородский ОРТПЦ" на 2016 год.

Наименование программы	Дата	Объект вещания	Продолжительность	
			начало	конец
Январь				
Пакет РТРС-1 (первый мультиплекс)	18.января	Все задействованные цифровые передатчики	2:00	4:59
Пакет РТРС-2 (второго мультиплекса)				
"Первый канал"	18.января	Цех Белгород, Цех Валуйки, Цех Старый Оскол, РРС "Алексеевка", РРС "Волоконовка", РРС "Зимовное", РРС "Новый Оскол", РТС "Ракитное", РТС "Старая Безгинка", РТС "Грайворон"	2:00	11:45
"Россия 1"				

Окончание таблицы 4.6

«Петербург-5 канал»	18.января	Цех Белгород, Цех Валуйки, Цех Старый Оскол, РРС "Алексеевка", РРС "Волоконовка", РРС «Новый Оскол», РТС «Ракитное», РТС «Грайворон»	2:00	11:45
«Россия-К»	18.января	Цех Белгород, РТС "Белый Колодезь",	2:00	6:59
	20.января	РТС "Ракитное", Цех Старый Оскол	2:00	9:59
«НТВ»	20.января	Цех Белгород, РТС "Вейделевка"	3:00	10:00
«ТВ Центр»	20.января	Цех Белгород, РРС "Алексеевка", РТПС "Валуйки", РРС "Волоконовка"	2:00	12:00
"Матч ТВ"	20.января	Цех Белгород	2:00	10:00
«СТС»	20.января	Цех Белгород	2:00	9:00
«Че»			2:00	10:00
«Дисней»				
«Звезда»			2:00	14:00
«ТВ 3»				
«ТНТ»				
Апрель				
Пакет РТРС-1 (первый мультиплекс)	18.апреля	Все задействованные цифровые передатчики	2:00	4:59
Пакет РТРС-2 (второй мультиплекс)				
"Первый канал"	18.апреля	Цех Белгород, Цех Валуйки, Цех Старый Оскол, РРС "Алексеевка", РРС "Волоконовка", РРС "Зимовное", РРС "Новый Оскол", РТС "Ракитное", РТС "Старая Безгинка", РТС "Грайворон"	2:00	11:45
"Россия 1"				

Окончание таблицы 4.6

«Петербург-5 канал»	18.апр	Цех Белгород, Цех Валуйки, Цех Старый Оскол, РРС "Алексеевка", РРС "Волоконовка", РРС «Новый Оскол», РТС «Ракитное», РТС «Грайворон»	2:00	11:45		
«Россия-К»	18.апр	Цех Белгород, РТС "Белый Колодезь",	2:00	6:59		
	20.апр	РТС "Ракитное", Цех Старый Оскол	2:00	9:59		
«НТВ»	20.апр	Цех Белгород, РТС "Вейделевка"	3:00	10:00		
«ТВ Центр»	20.апр	Цех Белгород, РРС "Алексеевка", РТПС "Валуйки", РРС "Волоконовка"	2:00	12:00		
"Матч ТВ"	20.апр	Цех Белгород	2:00	10:00		
«СТС»	20.апр	Цех Белгород	2:00	9:00		
«Перец»			2:00	10:00		
«Дисней»						
«Звезда»						
«ТВ 3»					2:00	14:00
«ТНТ»						
Июль						
Пакет РТРС-1 (первый мультиплекс)	18.июл	Все задействованные цифровые передатчики	2:00	4:59		
Пакет РТРС-2 (второй мультиплекс)						
"Первый канал"	18.июл	Цех Белгород, Цех Валуйки, Цех Старый Оскол, РРС "Алексеевка", РРС "Волоконовка", РРС "Зимовное", РРС "Новый Оскол", РТС "Ракитное", РТС "Старая Безгинка", РТС "Грайворон"	2:00	11:45		
"Россия 1"						

Окончание таблицы 4.6

«Петербург-5 канал»	18.июл	Цех Белгород, Цех Валуйки, Цех Старый Оскол, РРС "Алексеевка", РРС "Волоконовка", РРС «Новый Оскол», РТС «Ракитное», РТС «Грайворон»	2:00	11:45
«Россия-К»	18.июл	Цех Белгород, РТС "Белый Колодезь",	2:00	6:59
	20.июл	РТС "Ракитное", Цех Старый Оскол	2:00	9:59
«НТВ»	20.июл	Цех Белгород, РТС "Вейделевка"	3:00	10:00
«ТВ Центр»	20.июл	Цех Белгород, РРС "Алексеевка", РТПС "Валуйки", РРС "Волоконовка"	2:00	12:00
"Матч ТВ"	20.июл	Цех Белгород	2:00	10:00
«СТС»	20.июл	Цех Белгород	2:00	9:00
«Перец»			2:00	10:00
«Дисней»				
«Звезда»			2:00	14:00
«ТВ 3»				
«ТНТ»				
Октябрь				
Пакет РТРС-1 (первый мультиплекс)	17.окт	Все задействованные цифровые передатчики	2:00	4:59
Пакет РТРС-2 (второй мультиплекс)				
"Первый канал"	17.окт	Цех Белгород, Цех Валуйки, Цех Старый Оскол, РРС "Алексеевка", РРС "Волоконовка", РРС "Зимовное", РРС "Новый Оскол", РТС "Ракитное", РТС "Старая Безгинка", РТС "Грайворон"	2:00	11:45
"Россия 1"				

Окончание таблицы 4.6

«Петербург-5 канал»	17.окт	Цех Белгород, Цех Валуйки, Цех Старый Оскол, РРС "Алексеевка", РРС "Волоконовка", РРС «Новый Оскол», РТС «Ракитное», РТС «Грайворон»	2:00	11:45
«Россия-К»	17.окт	Цех Белгород, РТС "Белый Колодезь",	2:00	6:59
	19.окт	РТС "Ракитное", Цех Старый Оскол	2:00	9:59
«НТВ»	19.окт	Цех Белгород, РТС "Вейделевка"	3:00	10:00
«ТВ Центр»	19.окт	Цех Белгород, РРС "Алексеевка", РТПС "Валуйки", РРС "Волоконовка"	2:00	12:00
"Матч ТВ"	19.окт	Цех Белгород	2:00	10:00
«СТС»	19.окт	Цех Белгород	2:00	9:00
«Перец»			2:00	10:00
«Дисней»				
«Звезда»			2:00	14:00
«ТВ 3»				
«ТНТ»				

Учитывая плановые профилактические работы, на определенное, заранее известное время освобождаются представленные в таблице 4.7. следующие каналы в 2016 году:

						<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			73

Таблица 4.7 - Плановые профилактические работы и освобождающиеся частоты.

ТВК	Частота, МГц	Дата проведения работ	Время плановых остановок телевидения	Продолжительность нахождения в незанятом состоянии частотной полосы
43/ 46	646-654/ 670-678	18.январь/ 18.апрель/ 18.июль/ 17.октябрь	2:00-4:59	3 часа
59	774-782	18.январь/ 18.апрель/ 18.июль/ 17.октябрь	2:00-11:45	9 часов, 45 минут
29	374-382	18.январь/ 20.январь/ 18.апрель/ 20.апрель/ 18.июль/ 20.июль/ 17.октябрь/ 19.октябрь	2:00-6:59/ 2:00-9:59/ 2:00-6:59/ 2:00-9:59/ 2:00-6:59/ 2:00-9:59/ 2:00-6:59/ 2:00-9:59	5 часов/ 8 часов
27	518-526	20.январь/ 20.апрель/ 20.июль/ 19.октябрь	3:00-10:00	7 часов
44	654-662	20.январь/ 20.апрель/ 20.июль/ 19.октябрь	2:00-12:00	10 часов

Окончание таблицы 4.7

34	574-582	20.январь/ 20.апрель/ 20.июль/ 19.октябрь	2:00-10:00	8 часов
37	598-606	20.январь/ 20.апрель/ 20.июль/ 19.октябрь	2:00-9:00	7 часов
47	678-686	20.январь/ 20.апрель/ 20.июль/ 19.октябрь	2:00-9:00	7 часов
41	630-638	20.январь/ 20.апрель/ 20.июль/ 19.октябрь	2:00-10:00	8 часов
50	702-710	20.январь/ 20.апрель/ 20.июль/ 19.октябрь	2:00-14:00	12 часов

Однако не стоит забывать, что проведение плановых профилактических работ не означает, что каналы все это время свободны. Они могут быть свободны, а могут использоваться оператором для различных проверок и настроек.

Таким образом, существует значительное число каналов, которые остаются незадействованными в некоторых географических зонах в определенное время. Эти каналы создают так называемые «*белые пятна*» 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

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

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, которые могут быть использованы менее мощными устройствами, по сравнению со станциями цифрового телевидения [29].

Учитывая точное знание времени и диапазона освободившихся частот, появляется возможность использовать спектр с максимально возможной эффективностью. Однако стоит отметить, что окончательный свод правил и рекомендаций по использованию белых пятен еще не сформирован, поэтому использование белых пятен носит локальный и исследовательский характер.

Переход от аналогового наземного телевидения к цифровому привел к появлению значительных высвободившихся неиспользуемых участков в выделенной для ТВ сектора полосе радиочастот. Несмотря на то, что в разных регионах и районах эта высвобожденная полоса представляется по-разному, перед мировым сообществом электросвязи стоит общая задача – поиск оптимальных способов ее использования.

Таким образом, для формирования условий для использования когнитивных устройств в ТВ частотах необходима полная замена текущего набора аналоговых телевизионных программ цифровыми, позволяющая отключить аналоговое телевизионное радиовещание и оптимизировать использование телевизионного спектра. Более того, для успешной оптимизации использования радиочастотного спектра наземным цифровым телевизионным радиовещанием потребуются пересмотр или изменение планов частот наземного телевизионного радиовещания и соответствующая модернизация передающих сетей наземного цифрового телевизионного радиовещания. Завершение этой работы будет ключевым условием формирования условий для внедрения когнитивных устройств.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

Однако, необходимо помнить, что на сегодняшний день еще остаются практически нерешенные и не имеющие экономически выгодного решения проблемы обеспечения совместимости новых служб, например, подвижной службы с существующими службами, такими, как службы телевизионного радиовещания, работающими в соседних или перекрывающихся полосах частот в разных странах или регионах.

4.2. Оценка потенциально достижимой пропускной способности системы когнитивного радио

Спектральная (частотная) эффективность цифровой системы определяется, как

$$\gamma = R_b / B_W, \quad (4.5)$$

где R_b - скорость передачи информации, бит/с; B_W - полная полоса частот канала, Гц.

Измеряется спектральная эффективность числом битов в секунду, приходящихся на 1 Гц полосы канала, то есть бит/(с·Гц).

В реальных условиях доступная полоса канала B_W по тем или иным причинам может использоваться не полностью, поэтому даже достаточно эффективная система передачи в ее конкретном применении по данному критерию оценки будет выглядеть неэффективной [30]. Кроме того необходимо уточнить критерий спектральной эффективности, связав его с полосой Найквиста B_N и коэффициентом скругления спектра α , значение которого характеризует расширение практически занимаемой спектром сигнала полосы частот канала сверх полосы Найквиста B_N :

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

$$B_L = B_N(1 + \alpha). \quad (4.6)$$

Соответственно *реальная спектральная эффективность* η различных схем модуляции, предназначенных для цифровой передачи, выражается формулой

$$\eta = R_b / B_L = R_b / B_N(1 + \alpha). \quad (4.7)$$

В идеальном случае при полном использовании всей полосы частот канала, когда $B_W = B_L$, показатели эффективности η и γ совпадают, то есть $\gamma = \eta$.

Целесообразно ввести также критерий потенциальной спектральной эффективности конкретного метода модуляции, который соответствует коэффициенту η или γ при $B_W = B_L$ и $\alpha = 0$.

Определим *потенциальную эффективность* как

$$\gamma_0 = R_b / B_N. \quad (4.8)$$

Отсюда следует, что

$$\eta = \gamma_0 / (1 + \alpha) \text{ или } \gamma_0 = \eta (1 + \alpha). \quad (4.9)$$

При использовании многопозиционной цифровой модуляции

$$R_b = \log_2(M) R_S \quad (4.10)$$

где M - число элементов пространства сигналов при цифровой модуляции;
 R_S - скорость передачи символов цифрового потока.

Согласно критерию Найквиста максимальная скорость передачи символов в полосовой системе численно равна

$$R_S = B_W(1 + \alpha) \quad (4.11)$$

Следовательно, при $B_W = B_L$:

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

$$\eta = \log_2(M) / (1 + \alpha) \quad (4.12)$$

Отсюда следует, что для повышения спектральной эффективности необходимо учитывать кратность модуляции $\log_2(M)$ и одновременно снижать значение коэффициента скругления спектра α , тем самым увеличивая крутизну среза спектра модулирующего сигнала. Но использование малых α требует разработки сложных цифровых фильтров, а на приеме отсчеты сигнала в решающем устройстве становятся в большей мере подвержены временному джиттеру. Дополнительно к этому возрастает чувствительность к нелинейным искажениям в тракте, которые проявляются в снижении раскрыва глазка принимаемого сигнала. Поэтому существует мнение, что при массовом производстве радиоприемных устройств минимальное значение α должно быть равно 0,3. Для достижения максимальной помехоустойчивости в реальных условиях значение должно лежать в пределах от 0,4 до 0,6.

Для систем с модуляцией OFDM эффективность передачи определяется как

$$\eta = 2 / (1 + \alpha / L) \quad (4.13)$$

где L - число параллельно передаваемых в системе с OFDM потоков данных (не число ортогональных поднесущих).

Формула (13) показывает, что увеличение числа параллельных каналов данных приводит к высоким значениям эффективности η без снижения коэффициента скругления спектра α , что и является одним из преимуществ модуляции OFDM.

Однако при недостаточной помехозащищенности канала связи приходится снижать кратность модуляции и повышать избыточность из-за увеличения доли символов корректирующего кодирования, при этом соответственно снижается пропускная способность и, как следствие, падает спектральная эффективность. В

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

зависимости от кратности модуляции и кодовых скоростей, значения спектральной эффективности и предельная скорость передачи информации могут изменяться в очень широких пределах, что продемонстрировано в таблице 4.8. для некоторых типичных случаев использования иерархической модуляции в канале с полосой 8 МГц.

Таблица 4.8 - Спектральная эффективность QPSK, 16-QAM, 64-QAM для канала 8МГц.

Модуляция	Кодовая скорость	Скорость передачи данных, Мбит/с	Спектральная эффективность, бит/(с·Гц)
QPSK	1/2	4,54	0,62
QPSK	2/3	6,05	0,83
QPSK	3/4	6,81	0,93
QPSK	5/6	7,56	1,04
16-QAM	1/2	9,08	1,22
16-QAM	2/3	12,10	1,66
16-QAM	3/4	13,61	1,87
16-QAM	5/6	15,13	2,07
64-QAM	1/2	13,61	1,87
64-QAM	2/3	18,15	2,49
64-QAM	3/4	20,42	2,80
64-QAM	5/6	22,69	3,11

Зная скорость передачи данных для одного канала с полосой 8 МГц, можно определить суммарную пропускную способность для 28 свободных каналов на текущий момент, а также для 37 каналов соответственно, с учетом полного перехода на цифровое телевидение и открытием третьего мультиплекса.

Полученные данные продемонстрированы в таблице 4.9:

Таблица 4.9 – Суммарная пропускная способность для свободных каналов.

Модуляция	Кодовая скорость	Скорость передачи данных, Мбит/с	Суммарная пропускная способность свободных каналов, Мбит/с	
			Текущая	С полным переходом на ЦТВ
QPSK	1/2	4,54	128,58	163,44
QPSK	2/3	6,05	163,35	217,80
QPSK	3/4	6,81	183,87	245,16
QPSK	5/6	7,56	204,12	272,16
16-QAM	1/2	9,08	245,16	326,88
16-QAM	2/3	12,10	326,70	435,60
16-QAM	3/4	13,61	367,47	489,96
16-QAM	5/6	15,13	408,51	544,68
64-QAM	1/2	13,61	367,47	489,96
64-QAM	2/3	18,15	490,05	653,40
64-QAM	3/4	20,42	551,34	735,12
64-QAM	5/6	22,69	612,63	816,84

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

При увеличении кратности модуляции увеличивается спектральная эффективность, но в то же время падает помехозащищенность, что приводит к возрастанию минимально допустимого соотношения сигнал/шум и увеличению количества символов корректирующего кодирования. При использовании помехоустойчивого кодирования часть пропускной способности расходуется на проверочные или избыточные символы. Этот параметр задается кодовой скоростью (Coding Rate). Множество применимых кодов позволяет обеспечить требуемый компромисс между спектральной и энергетической эффективностями в каждой конкретной ситуации.

Были рассмотрены 12 комбинаций из трех модуляций (QPSK, QAM-16, QAM-64) и четыре кодовые скорости (1/2, 2/3, 3/4, 5/6), которые могут быть адаптивно выбраны для достижения различных задач, в зависимости от состояния окружающей радиообстановки и помех. Данные типы модуляции наиболее часто используются в цифровых системах ТВ вещания, а также именно на них построен один из передовых стандартов когнитивных технологий IEEE 802.22. Вкупе с достаточным количеством свободных каналов и использованием данных видов модуляций когнитивные системы радиосвязи способны выполнить гибкий выбор их использования с учетом влияния различных задержек распространения сигнала, помех и состояния окружающей радиообстановки, тем самым обеспечив эффективное использование спектральных ресурсов.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

4.3. Рекомендации по практической части реализации дополнительных исследований.

Помимо спектральной эффективности существуют также энергетическая эффективность и потенциальная помехоустойчивость, а также некоторые другие значимые параметры для когнитивных систем и конструкций. Однако для их определения требуются значительные вычислительные, временные и финансовые ресурсы. Кроме этого, на данном этапе развития когнитивных устройств довольно проблематичным представляется дать качественную оценку этим параметрам. Тем не менее, в интересах повышения эффективности использования радиочастотного спектра необходимо создать опытную сеть когнитивной радиосвязи с выделением специальной полосы частот для проведения анализа основных характеристик и функциональных возможностей оборудования когнитивной системы, проверки основных режимов работы оборудования, а также измерения основных технических характеристик и защитных отношений при помехах, создаваемых когнитивными устройствами системам приема программ ТВ вещания. Необходимо определить условия совместного использования РЭС когнитивного радио в полосе частот 470-790 МГц и РЭС наземного ТВ вещания, определить ЭМС в соседних РЧ каналах. Определить перечень основных технических данных для формирования базы данных для управления устройствами когнитивных систем, разработать алгоритм функционирования базы данных.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1. Планирование работ по исследованию

Для реализации исследования понадобятся следующие специалисты:

- старший научный сотрудник (заведующий лабораторией), осуществляющий общее руководство исследованием;
- младший научный сотрудник, проводящий разработку, исследование, необходимые расчеты, составляющий техническую документацию на исследование;
- экономист, дающий экономическую оценку исследования.

Расчет сроков проведения и трудоемкости представлен в таблице 5.1:

Таблица 5.1 - Планирование работ по исследованию

Наименование этапов работ	Исполнитель	Трудоемкость, час	Продолжительность, дней
1	2	3	4
1.Подготовительный			
1.1.Сбор информации	Младший научный сотрудник	24	3
1.2.Выработка идеи	Старший научный сотрудник	40	5
1.3.Определение объема исследовательских работ	Младший научный сотрудник	32	4
1.4.Составление плана исследования	Старший научный сотрудник	8	1

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

Окончание таблицы 5.1

1.5.Формирование исследовательской работы	Младший научный сотрудник	80	10
1.6.Обработка и анализ информации	Младший научный сотрудник	72	9
Итого:		256	32
2.Основной (экономический анализ)			
2.1.Обоснование целесообразности работы	Старший научный сотрудник	24	3
2.2.Выполнение работы	Младший научный сотрудник	24	3
Итого:		48	6
3.Заключительный			
3.1.Технико-экономическое обоснование	Экономист	24	3
3.2.Оформление и утверждение документации	Старший научный сотрудник	16	2
Итого:		40	5

Результатом планирования является расчет трудоемкости исследования по часам и количеству дней. Определена численность штата производственного персонала, необходимого для проведения исследования.

5.2. Расчет расходов на оплату труда на исследование.

Расчет расходов на оплату труда разработки исследования представлен в таблице 5.2.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

Таблица 5.2 - Расчет расходов на оплату труда

Должность Исполнителей	Трудоемкость, час	Оклад, руб
1	2	3
Старший научный сотрудник	88	37455
Младший научный сотрудник	232	22365
Экономист	24	21255
Итого:	344	81075

Часовая тарифная ставка ($Ч_{ТС}$) рассчитывается по формуле:

$$Ч_{ТС} = \frac{P}{F_{мес}} \quad (5.1)$$

где $F_{мес}$ – фонд рабочего времени месяца, составляет 176 часов (22 рабочих дня по 8 часов в день); P – оклад сотрудника.

Для нахождения расхода на оплату труда (P_{OT}) была использована формула 23:

$$P_{OT} = Ч_{ТС} * T_{сум} \quad (5.2)$$

где $T_{сум}$ – суммарная трудоемкость каждого из исполнителей.

Результаты расчетов сведены в таблицу 5.3:

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

Таблица 5.3 - Расчет расходов на оплату труда

Должность Исполнителей	Трудоемкость, час	Оклад, руб	ЧТС, руб/час	Рот, руб
1	2	3	4	5
Старший научный сотрудник	88	37455	212	18656
Младший научный сотрудник	232	22365	127	29364
Экономист	24	21255	120	2880
Итого:	344			50900

5.3. Расчет продолжительности исследования

Согласно расчетам трудоемкость исследования составила 344 часа.

Продолжительность исследования составит:

$$T_{иссл} = T_{сум} / T_{РД} \quad (5.3)$$

где $T_{сум} = 344$ часа суммарная трудоемкость исследования

$T_{РД} = 8$ часов – продолжительность рабочего дня

$$T_{иссл} = 344 / 8 = 43 \text{ дня.}$$

Продолжительность исследования составляет 43 дня, расчет производится без учета выходных и праздничных дней.

5.4. Расчет стоимости расходных материалов

В таблице 5.4 приведён перечень расходов на приобретение основных материалов необходимых для проведения исследования.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

Таблица 5.4 - Стоимость расходных материалов

Наименование расходных материалов	Цена за единицу, руб.	Количество, шт.	Сумма, руб.
1	2	3	4
Бумага	250	4	1000
Канцтовары	760	-	760
Расходные материалы для принтера (картридж)	2900	-	2900
Итого:			4660

Из таблице 13 видно, что для проведения исследования потребуются расходные материалы на сумму 4660 рублей.

5.5. Расчет сметы расходов на исследование.

В данной главе рассчитаны общие расходы на разработку и проведение исследования. В статьи расходов включены премиальные зарплаты, районный коэффициент и страховые взносы. Для оценки затрат на исследование была составлена смета на разработку и проведение исследования.

Произведем расчет расходов:

Премиальные выплаты рассчитывались по формуле:

$$ПВ = P_{OT} K_{ПВ} \quad (5.4)$$

где $K_{ПВ}$ - коэффициент премиальных выплат, составляет 35 %, в случае если премии не предусмотрены $K_{ПВ}=1$.

$$ПВ = 50900 \cdot 0,35 = 17815 \text{ руб.}$$

Дополнительные затраты на проведение исследования определялись как:

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88

$$З_{ДОП} = P_{ОТ} K \quad (5.5)$$

где К - коэффициент дополнительных затрат (К=15%).

$$З_{ДОП} = P_{ОТ} \cdot 15 \%$$

$$З_{ДОП} = 50900 \cdot 0.15 = 7635 \text{ руб.}$$

Общие расходы на оплату труда были вычислены по формуле:

$$P_{общ} = P_{ОТ} + ПВ + З_{ДОП} \quad (5.6)$$

где $P_{ОТ}$ - основная заработная плата; ПВ - премиальные выплаты; $З_{ДОП}$ - дополнительные затраты.

$$\Sigma P_{ОТ} = 50900 + 17815 + 7635$$

$$\Sigma P_{ОТ} = 76350 \text{ руб.}$$

Из таблицы 10 берется итоговая сумма стоимости расходных материалов.

$$\Sigma P_{РМ} = 4660 \text{ руб.}$$

Страховые взносы рассчитывались по формуле:

$$СВ = P_{ОТ} \cdot 0,3 \quad (5.7)$$

$$СВ = 50900 \cdot 0.30 = 15270 \text{ руб.}$$

Амортизационные исчисления на использование компьютера вычислялись аналогично выражению (6). В данном примере они составляют 15% от стоимости компьютера.

$$АО = C_{ПК} \cdot 0,15 \quad (5.8)$$

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		89

$$AO = 65000 \cdot 0.15 = 9750 \text{ руб.}$$

Расходы на использование Интернета брались из расчета двух месячных абонентских плат для предприятия.

$$P_{\text{ИНТ}} = 4000 \text{ руб.}$$

Административно-хозяйственные расходы составляют 20% от основной заработной платы ($P_{\text{ОТ}}$).

$$P_{\text{АХ}} = P_{\text{ОТ}} \cdot 0,2 \quad (5.9)$$

$$P_{\text{АХ}} = 50900 \cdot 0.2 = 10180 \text{ руб.}$$

Результаты расчета расходов сведены в таблицу. Смета расходов на разработку и проведение исследования представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 - Смета расходов на разработку и проведение исследования

Наименование статей расходов	Сумма, руб.	Удельный вес статей, %
1	2	3
1. Стоимость расходных материалов	4660	2.4
2. Расходы на оплату труда	76350	39
2.1. Основная заработная плата	50900	25.1
2.2. Дополнительные затраты	7635	3.9
2.3. Премияльные выплаты	17815	9
3. Единый социальный налог	15270	7.8
4. Амортизационные исчисления на использование компьютера	9750	5
5. Расходы на использование Интернет	4000	2
6. Административно-хозяйственные расходы	10180	5.2
Итого:	196560	100

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		90

Результатом экономической оценки исследования является определение затрат на разработку и реализацию исследования:

- продолжительность исследовательских работ составила 43 дня;
- сметы расходов на исследование – 196560 рублей.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		91

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель работы достигнута. Все задачи выполнены.

Проведен анализ тенденций развития систем ШПД, рассмотрены имеющиеся проблемы с распределением спектральных ресурсов в различных государствах и областях с разными плотностями населения. Прослеживаются тенденции повышения пропускных способностей, увеличения скорости передачи данных, появления новых сервисов и приложений, увеличение количества приложений и девайсов, поддерживающих доступ в интернет, что приводит к проблемам поиска новых частотных ресурсов и удовлетворения потребностей населения в широкополосном доступе в сеть Интернет.

Одним из возможных решений данных проблем является использование технологии когнитивного радио. Когнитивное радио построено на платформе SDR и является одной из наиболее перспективных передовых технологий. Существует несколько способов, которыми можно организовать когнитивную систему. Способы организации в свою очередь должны выбираться исходя из типа местности, плотности населения, финансовых возможностей и многих других критериев.

Благодаря своей способности быстро принимать любую доступную радио-конфигурацию, платформы CR могут перенастраивать себя под любой, даже устаревший коммуникационный стандарт предыдущих поколений связи, для того, чтобы взаимодействовать с любыми системами местной связи или облегчить связи между двумя платформами не использующими технологии CR, но в то же время использующих различные стандарты связи.

Кроме того, CR система с ее встроенным искусственным интеллектом может автоматически распознавать различные стандарты связи при отсутствии любого централизованного контроля из вне.

Рассмотрен метод OFDM, которые является наиболее перспективным для технологий когнитивного радиодоступа. Также он интересен для рассмотрения с

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

точки зрения того, что он уже используется в цифровых системах ТВ вещания, что дополнительно облегчает внедрение когнитивных устройств в полосу частот, выделенную для телевидения. А также рассмотрены перспективные существующие или разрабатываемые стандарты для технологии когнитивного радиодоступа.

Проведен анализ важности принятия решений по вопросам распределения спектра государственными органами, которые будут решать, разрешать ли когнитивный доступ к участкам спектра или нет. Данные органы должны выбрать наиболее выгодный и полезный для своей страны способ распределения этих ресурсов. Но, на этой ранней стадии развития когнитивного доступа, не совсем ясно, как скоро это произойдет. Поскольку имеется большое количество сторонников данной технологии, то лицензирующие органы также способствуют продвижению решений по данной проблеме. Тем не менее, это измениться в будущем и для разных диапазонов частот могут быть приняты разные подходы. Также необходимо учесть, что участие всех заинтересованных сторон в перераспределении - это элементарная мера, которая является гарантией успеха. Действительно, жизненно необходимо активное участие в перераспределении всех заинтересованных сторон, с тем чтобы их потребности и проблемы были учтены.

Определены проблемы связанные с когнитивным доступом к спектру и возможные варианты их решения.

Рассмотрены варианты реализации технологии когнитивного радио с использованием географических баз данных и вариантов спектрального зондирования, выделены преимущества и недостатки каждого из методов.

Выделены принципы, которые позволят достигнуть основной цели управления использованием спектра – получения максимальной социально-экономической выгоды от использования радиочастотного спектра. Важнейшим из которых является непрерывность обслуживания. Перераспределение ни при

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		93

каких обстоятельствах не должно приводить к перебоям в обслуживании абонентов, следовательно, необходимо обеспечить непрерывность предоставления услуг. Для этого необходимо подготовить четкий и детальный план информационной работы с абонентами, а также (при необходимости) подробный график замены абонентского оборудования.

Проведено исследование эффективности использования частотных ресурсов на примере системы телевидения Белгородского региона. В результате исследования было выявлено, что переход от аналогового наземного телевидения к цифровому привел к появлению значительных высвободившихся неиспользуемых участков в выделенной для ТВ сектора полосе радиочастот.

Существует значительное число каналов, которые остаются незадействованными в некоторых географических зонах в определенное время. Эти каналы создают так называемые «белые пятна» 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, которые могут быть использованы менее мощными устройствами, по сравнению со станциями цифрового телевидения. Важно отметить, что существует довольно много свободных или освобождаемых каналов, которые расположены рядом, что создает возможность использования большее широкой полосы, а следовательно и более широкополосных сигналов.

Учитывая точное знание времени и диапазона освободившихся частот, появляется возможность использовать спектр с максимально возможной эффективностью. Однако стоит отметить, что окончательный свод правил и

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

рекомендаций по использованию белых пятен еще не сформирован, поэтому использование белых пятен носит локальный и исследовательский характер.

Таким образом, для формирования условий для использования когнитивных устройств в ТВ частотах необходима полная замена текущего набора аналоговых телевизионных программ цифровыми, позволяющая отключить аналоговое телевизионное радиовещание и оптимизировать использование телевизионного спектра. Более того, для успешной оптимизации использования радиочастотного спектра наземным цифровым телевизионным радиовещанием потребуется пересмотр или изменение планов частот наземного телевизионного радиовещания и соответствующая модернизация передающих сетей наземного цифрового телевизионного радиовещания. Завершение этой работы будет ключевым условием формирования условий для внедрения когнитивных устройств.

Дана оценка потенциально достижимой пропускной способности с использованием различных видов модуляций и различного числа свободных каналов. Рассмотренные типы модуляции наиболее часто используются в цифровых системах ТВ вещания, а также именно на них построен один из передовых стандартов когнитивных технологий IEEE 802.22. Вкупе с достаточным количеством свободных каналов и использованием данных видов модуляций когнитивные системы радиосвязи способны выполнить гибкий выбор их использования с учетом влияния различных задержек распространения сигнала, помех и состояния окружающей радиообстановки, тем самым обеспечив эффективное использование спектральных ресурсов.

Предложены рекомендации по практической реализации дополнительных исследований.

Произведена экономическая оценка результатов исследования. Стоит отметить, что перераспределение полосы частот 470–790 МГц обеспечит как экономические, так и социальные преимущества. Очевидно, что предоставление

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		95

этой полосы частот для подвижной широкополосной связи обеспечит важные экономические (новые лицензии, вклад операторов, уплата сборов и т. д.), а также социальные преимущества (универсальное обслуживание, создание рабочих мест, доступ к подвижной широкополосной связи для всех и т. д.).

Данные о занятии спектра должны также повысить качество предоставляемых конструкций различными поставщиками беспроводных устройств, поскольку им будет предоставляться более глубокое понимание их целевой спектральной области. Это должно поддерживать улучшенные конструкции и обеспечить способность моделировать и тестировать эти системы с представленными наборами данных, охватывающими использование спектра в полосах частот, которым они адресованы. Это будет особенно ценно для новых когнитивных радио-конструкций с особенно критичными требованиями, которыми они должны обладать, чтобы иметь возможность работать в широком спектральном диапазоне, в конечном счете в динамической окружающей среде использования.

Поставщики услуг в беспроводных сетях передачи информации также должны извлечь выгоду из новых способов использования спектра. Это позволит провайдерам более оптимально использовать спектр, которым они управляют, и даст им более глубокое понимание текущего состояния спектра, различные частоты которого они смогут использовать. И, наконец, провайдеры будут теперь иметь необходимую информацию, которая должна помочь им оценить потенциальное влияние динамического доступа к спектру и способы, которые они смогут использовать для развертывания этих сетей, чтобы принять участие в становлении мобильных сетей будущего.

В целом, рационализация использования спектральных ресурсов должна обеспечить тот факт, что этот важный природный ресурс действительно будет использован в целях оптимизации общественных интересов. Это должно позволить использовать новые технологии, быстро развертываться новым

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

мобильным сетям, чтобы удовлетворить растущие потребности общества в обучении, общении и обмене информацией самых различных форм. Наконец, основанные на оптимальном использовании спектра услуги, должны минимизировать стоимость их предоставления, делая их доступными для более широкой аудитории населения.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		97

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mishra, Ajay K. Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimization, 2G/2.5G/3G...Evolution of 4G - John Wiley and Sons, 2004 — 208 с.;
2. Fumiyuki Adachi, Wireless past and Future: Evolving Mobile Communication Systems- IEICE Trans. Fundamental, Vol. E84-A, No.1, January 2001 – pp. 80;
3. Measuring the Information Society; The ICT Development Index// [Электронный ресурс] http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/2009/material/IDI2009_w5.pdf
4. Pereira, Vasco & Sousa, Tiago. Evolution of Mobile Communications: from 1G to 4G, Department of Informatics Engineering of the University of Coimbra, Portugal 2004
5. Gokul P Nair, Nanocore- A Review on 5G Mobile Communications, in pg. 124-133, ISSN 2320– 088X, International Journal of Computer Science and Mobile Computing, ICMIC13, December- 2013.
6. Dr. Anwar M. Mousa, Prospective of Fifth Generation Mobile Communications, in Vol.4, No.3, International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN), September 2012.
7. Sapana Singh &Pratap Singh, Key Concepts and Network Architecture for 5G Mobile Technology, in Volume1 Issue5, International Journal Scientific Research Engineering Technology (IJSRET), August 2012, pp165-170 .
8. Ericsson Mobility Report MWC Edition February 2016, [Электронный ресурс] <http://www.ericsson.com/res/docs/2016/mobility-report/ericsson-mobility-report-feb-2016-interim.pdf>
9. Мировой рынок мобильного ШПД, [Электронный ресурс] <http://www.tadviser.ru/> Ericsson

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

10. V. Bose, A software driven approach to SDR design, COTS Journal, Jan. 2004.
11. J. Chapin and V. Bose, The Vanu software radio system, Software Defined Radio Technical Conference, San Diego, CA, USA, 2002.
12. J. Mitola III, Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio. PhD thesis, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, May 2000.
13. M. Nekovee, Dynamic spectrum access—concepts and future architectures, BT Technology Journal, vol. 24, pp. 111–116, May 2006.
14. B. Fette, Cognitive Radio Technology. Boston, MA, USA: Elsevier, 2006
15. An evaluation of software defined radio. [Электронный ресурс] www.ofcom.org.uk/research/technology/research/emer_tech/sdr.
16. Federal Communications Commission, First report and order and further notice of proposed rulemaking in the matter of unlicensed operation in TV broadcast bands. ET Docket No. 04-186, Oct. 2006.
17. Federal Communications Commission, The FCC’s Office of Engineering and Technology release report on tests of prototype white space devices. ET Docket No. 04-186, Oct. 2008.
18. Office of Communications, Digital dividend review, a statement on our approach to awarding the digital dividend. [Электронный ресурс] www.ofcom.org.uk/condocs/ddr/statement, Dec.2007.
19. Office of Communications, Digital dividend: Cognitive access. [Электронный ресурс] www.ofcom.org.uk/consult/condocs/cognitive, Feb. 2009.
20. C. Cordeiro, K. Challapali, D. Birru, and S. Shankar, IEEE 802.22: An introduction to the first wireless standard based on cognitive radios, Journal of Communications, vol. 1, no. 1, pp. 38–47, 2006.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		99

21. D. Scaperoth, B. Le, T. Rondeau, D. Maldonado, C. W. Bostian, and S. Harrison, Cognitive radio platform development for interoperability, in Military Communications Conference, Oct. 2006.
22. I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey, Elsevier Computer Networks Journal, vol. 50, pp. 2127–2159, Sept. 2006.
23. A. Petrin, Maximizing the utility of radio spectrum: Broadband spectrum measurements and occupancy model for use by cognitive radio. PhD thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, July 2005.
24. U. S. Jha and R. Prasad, OFDM towards Fixed and Mobile Broadband Wireless Access. London, UK: Artech House, 2007.
25. M. Wellens, J. Wu, and P. Mahonen, Evaluation of spectrum occupancy in indoor and outdoor scenario in the context of cognitive radio, in Proceedings of the Second International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, pp. 420–427, Aug. 2007.
26. The European table of frequency allocations and applications in the frequency range 8.3 kHz to 3000 GHz (ECA TABLE), [Электронный ресурс] <http://www.erodocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/ERCRep025.pdf>
27. Цифровое ТВ в Белгородском регионе, [Электронный ресурс] <http://belgorod.rtrs.ru/dtv/>
28. Аналоговое ТВ в Белгородском регионе, [Электронный ресурс] <http://ru.tvpedia.wikia.com/wiki/>
29. Alard M., Lassalle R., Principles of modulation and channel coding for digital broadcasting for mobile receivers. – EBU review – Technical. August 1987. №224
30. Зюко А.Г., Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации – М.: Радио и связь. 1985.

					<i>11070006.11.03.02.105.ПЗВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		100