



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
 УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
 ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ИНСТИТУТ РАДИО  
 (ФГУП НИИР)

Казакова ул., д. 16, Москва, 105064  
 Телефон: (499) 261 36 94, для справок: (499) 261 63 70,  
 Факс: (499) 261 00 90, E-mail: [info@niir.ru](mailto:info@niir.ru)  
<http://www.niir.ru>  
 ОКПО 01181481, ОГРН 1027700120766  
 ИНН/КПП 7709025230/997750001

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ФГУП НИИР, д.т.н.

В.В. Бутенко

2017 г.



№ \_\_\_\_\_

На №

от

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт радио» на диссертацию Варламова Олега Витальевича на тему «Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

### 1. Актуальность темы диссертации

Диссертация Варламова О.В. посвящена разработке технологии создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации, основанной на предложенном и разработанном автором методе крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ.

Реализуемая в настоящее время ФГУП РТРС ФЦП «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 – 2015 годы» позволит обеспечить население РФ возможностью приема многопрограммного цифрового телевизионного вещания «с охватом до 98,3% населения в местах постоянного проживания». При этом более половины территории РФ останутся не покрыты телевещанием. Для информационного обслуживания этой малонаселенной, находящейся в северных регионах территории, где во многих случаях уже не принимаются сигналы от геостационарных спутников, целесообразно использование диапазонов НЧ, СЧ и ВЧ.

Россия, в отличие от США, Индии, КНР, и других стран с большой территорией, находится в 1-м регионе МСЭ, где разрешено использование для радиовещания диапазона НЧ. Этот диапазон предоставляет уникальную возможность организации вещания с радиусом более 600 км от передатчика независимо от солнечной активности и времени суток, что особенно актуально для обслуживания малонаселенных и северных территорий.

Вход. № 66/14  
 «28» 04 2017 г.  
 подпись

Существовавшая ранее сеть аналогового мощного радиовещания, при невысоком качестве сигнала в темное время суток и высоких затратах на электроэнергию, не обеспечивала покрытия всей территории РФ, поэтому Распоряжением Правительства РФ от 28 марта 2010 г. № 445-р признано целесообразным внедрение системы цифрового радиовещания DRM, работающей в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ.

Цифровое радиовещание потенциально позволяет обеспечить более высокое качество доставляемого слушателю контента при мощностях передатчиков и эксплуатационных затратах не выше, а в ряде случаев значительно ниже, чем в аналоговых системах. Поэтому задача разработки технологии создания государственной сети ЦРВ, позволяющей осуществлять круглосуточное обслуживание всей территории РФ и прилегающих акваторий, в том числе с целью оповещения о чрезвычайных ситуациях, является актуальной и может рассматриваться как совокупность новых научно обоснованных технических решений, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.

## **2. Структура и основные результаты работы**

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы и четырех приложений.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель работы и решаемые задачи, указаны научная новизна и значение полученных соискателем результатов для практики, представлены сведения о структуре работы и приведены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** выполнен анализ общих характеристик сетей радиовещания. Рассмотрены качественные характеристики звукового тракта в системе DRM при различных доступных скоростях передачи и используемых аудиокодеров, и проведено сравнение радиусов зон покрытия одного и того же передатчика в режимах АМ и DRM. Проведен сравнительный анализ эффективности аналогового и цифрового вещания в различных диапазонах частот. Показано, что минимальная стоимость гарантированного обслуживания территории достигается в режиме DRM в диапазоне НЧ.

Рассмотрена планировавшаяся ранее топология сети цифрового радиовещания стандарта DRM для РФ, разработанная в Системном проекте «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации», выполненном в 2011 году по заказу ФГУП «РТРС» и определены ее недостатки. Проведена разработка фрагментов отечественной нормативной базы цифрового радиовещания стандарта DRM: маски на внеполосные излучения и ОСШ в выходном сигнале передатчика в целом и его возбуждителя, а также ряда решений ГКРЧ.

Во **второй главе** проведен анализ передающих устройств стандарта DRM. Сформулированы требования к передающим устройствам, использованные при разработке «Правил применения оборудования систем радиовещания. Часть I. Правила применения эфирных цифровых радиовещательных передатчиков, работающих в диапазонах частот 0,1485 – 0,2835 МГц; 0,5265 – 1,6065 МГц; 3,95 – 26,10 МГц». Рассмотрены способы построения мощных радиовещательных передатчиков с высоким КПД диапазонов НЧ, СЧ и ВЧ и их основных энергоемких узлов: радиочастотного и модуляционного трактов. Разработаны требования к характеристикам линей-

ных и высокоэффективных передатчиков: с отдельным усилением, с цифровым преобразованием огибающей, и построенных по методу дефазирования.

**В третьей главе** решена задача обеспечения согласования высокоэффективных передатчиков с вещательными антенными системами диапазона НЧ с требуемым для работы в режиме DRM КСВ. Предложен не использовавшийся ранее в отечественном мощном радиовещании метод согласования антенных систем с помощью элементов с потерями. Разработаны методики проектирования и инженерные средства для расчетов частотно-расширительных и антенно-согласующих цепей.

**В четвертой главе** разработаны требования на параметры приемного оборудования сетей ЦРВ стандарта DRM, включающие в себя требования к основным функциональным и радиочастотным параметрам, а также методы измерений радиочастотных параметров этого оборудования.

**В пятой главе** проведен анализ радиочастотных защитных отношений и работы сети ЦРВ в переходный период. Полученные на лабораторной измерительной установке значения отдельных величин защитных отношений с учетом различных каналов распространения подтверждены эфирными измерениями и расширяют данные МСЭ. Разработанная методика расчета защитных отношений для сигнала ЦРВ при одновременном воздействии произвольного количества мешающих сигналов подтверждена лабораторными исследованиями и эфирными испытаниями для различных комбинаций мешающих сигналов и частотных отстроек.

Проведенное исследование условий использования цифрового радиовещания стандарта DRM при работе в совмещенном режиме (Simulcast) с учетом параметров существующей аналоговой бытовой радиоприемной аппаратуры позволило определить соотношение мощностей, при котором обеспечивается равенство зон обслуживания в обоих режимах с сохранением качества приема аналогового сигнала для большинства имеющихся у населения АМ приемников.

**В шестой главе** проведена разработка технических основ методики частотно-территориального планирования сетей цифрового радиовещания стандарта DRM диапазонов НЧ и СЧ с учетом результатов проведенных экспериментальных исследований и существующих материалов МСЭ-Р.

Проведен анализ напряженности поля промышленных помех и атмосферных шумов и рассмотрено распределение атмосферных шумов по территории Земли. Выполнена оценка максимально ожидаемой напряженности поля атмосферных радишумов в полосе 10 кГц, превышаемой в течение 2% времени, для различных частот диапазонов НЧ и СЧ в северных, средних и тропических широтах. Показана необходимость расчетов напряженности поля атмосферных шумов при определении зоны обслуживания передатчика в каждом географическом регионе.

Приводятся результаты измерений зоны обслуживания передатчика мощностью 40 кВт в режиме DRM в диапазоне СЧ в светлое и темное время суток в различных режимах помехоустойчивости, подтверждающие разработанные технические основы методики частотно-территориального планирования сетей цифрового радиовещания стандарта DRM диапазонов НЧ и СЧ.

**В седьмой главе** проведена разработка топологии сети цифрового радиовещания РФ. На основе разработанного метода преобразования кривых распространения земной волны МСЭ в кривые ОСШ определены предпочтительные для вещания частоты в отдельных регионах высоких, средних и тропических широт. Предложен

метод использования крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ для построения глобальных сетей цифрового радиовещания. На его основе разработан пример архитектуры сети государственного наземного цифрового радиовещания стандарта DRM для РФ, использующий всего 8 номиналов радиочастот и 29 передатчиков суммарной мощностью менее 2 МВт.

В **заключении** сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы, рекомендации по их использованию и перспективные направления дальнейшей разработки темы исследования.

В **приложениях** приведены разработанные требования на параметры приемного оборудования сетей ЦРВ стандарта DRM и методы измерений радиочастотных характеристик этого оборудования, результаты моделирования в режиме одновременной передачи аналогового и цифрового сигналов, а также акты внедрения результатов диссертации.

### **3. Научная новизна основных результатов работы**

На основании рассмотрения диссертации и опубликованных в периодических изданиях научных трудов автора можно выделить следующие новые научные результаты Варламова О.В.

1. Предложен метод частотно-территориального планирования с использованием крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ для построения глобальных сетей цифрового радиовещания. Разработаны параметры кластера (максимальное расстояние между передатчиками, размер, режимы помехоустойчивости) и определены расстояния между зонами, на которых возможно повторное использование частот при круглосуточной работе.

2. Разработаны технические основы методики частотно-территориального планирования сетей цифрового радиовещания стандарта DRM диапазонов НЧ и СЧ, учитывающие, в том числе, распределение атмосферных шумов по поверхности Земли.

3. Определены значения максимальных ожидаемых напряженностей поля атмосферных шумов, превышаемых в течение 2% времени, для различных частот диапазонов НЧ и СЧ (в полосе частот 10 кГц) в северных, средних и тропических широтах.

4. Определены отдельные величины защитных отношений для трех видов каналов распространения (однолучевого, двухлучевого и четырехлучевого) при действии одной помехи от станции с амплитудной модуляцией (с АЧХ по МСЭ и по ГОСТ-Р), а также от станции с цифровой модуляцией.

5. Разработана методика расчета защитных отношений для сигнала ЦРВ при одновременном воздействии произвольного количества мешающих сигналов.

6. Разработан комплекс требований к техническим характеристикам высокоэффективных передающих устройств, отличающийся учетом нелинейности АХ и ФАХ, относительной задержки составляющих и полосы пропускания тракта огибающей. Выполнение этих требований обеспечивает одновременно допустимую величину коэффициента ошибок модуляции (MER, Modulation Error Ratio) в выходном сигнале передатчика.

7. Предложен способ расширения полосы согласования передающих вещательных антенных систем диапазонов НЧ и СЧ на основе применения частотно-

расширительных цепей с потерями и разработана методика расчетов частотно-расширительных цепей.

#### **4. Практическая ценность**

1. На основе предложенного метода частотно-территориального планирования с использованием крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания разработана топология сети государственного наземного цифрового радиовещания стандарта DRM для РФ в диапазоне НЧ. Разработанная топология позволяет с меньшими затратами покрыть круглосуточным вещанием всю территорию РФ. При этом остаются свободные частоты для стран РСС и для большинства территориально-крупных стран 1-го региона МСЭ.

2. Разработанные технические основы методики частотно-территориального планирования сетей цифрового радиовещания стандарта DRM диапазонов НЧ и СЧ подтверждены экспериментальными исследованиями и позволили определить параметры передающей сети наземного цифрового радиовещания стандарта DRM для РФ.

3. Показана возможность одновременной передачи цифрового и аналогового сигнала с соотношением мощностей около 10 дБ, что обеспечивает примерное равенство зон покрытия при работе в режиме Simulcast в переходный период. При этом ухудшение качества приёма аналогового сигнала будет незначительным для большинства имеющих у населения АМ приемников.

4. На основании результатов проведенных исследований приняты три решения ГКРЧ о возможности использования диапазонов НЧ, СЧ и ВЧ для создания на территории РФ сетей цифрового звукового радиовещания стандарта DRM.

5. Результаты исследований, проведенных в диссертации, были использованы при подготовке двух вкладов администрации связи РФ в МСЭ, вошедших в Отчет МСЭ-Р BS.2384-0 «Implementation considerations for the introduction and transition to digital terrestrial sound and multimedia broadcasting» (07/2015), и при разработке «Правил применения оборудования систем радиовещания. Часть I. Правила применения эфирных цифровых радиовещательных передатчиков, работающих в диапазонах частот 0,1485 – 0,2835 МГц; 0,5265 – 1,6065 МГц; 3,95 – 26,10 МГц».

6. Разработанные требования на параметры приемного оборудования сетей ЦРВ стандарта DRM, включающие в себя требования к основным функциональным и радиочастотным параметрам, а также методы измерений радиочастотных параметров этого оборудования, вошли в системный проект «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации».

7. Предложенный способ расширения полосы согласования передающих вещательных антенных систем диапазонов НЧ и СЧ на основе применения частотно-расширительных цепей с потерями и разработанные методика расчетов и средства инженерного проектирования частотно-расширительных цепей позволяют использовать для ЦРВ в диапазоне НЧ существующие антенны высотой 257 метров, в том числе в режиме Simulcast с двойной полосой частот в верхней половине диапазона НЧ.

## **5. Обоснованность и достоверность результатов работы**

Обоснованность и достоверность полученных теоретических и прикладных результатов и выводов работы обеспечиваются корректным применением методов статистического анализа случайных процессов, теории оптимизации, статистического моделирования, системного и схмотехнического компьютерного моделирования, в том числе с использованием программного обеспечения и лабораторных установок, разработанных автором.

Теоретические результаты, представленные в диссертации, подтверждены эфирными экспериментами и трассовыми испытаниями.

## **6. Личный вклад автора**

Все выносимые на защиту результаты и положения, составляющие основное содержание диссертационной работы, разработаны и получены лично автором. Из работ, опубликованных в соавторстве, в диссертацию включена только та их часть, которая получена лично соискателем. Все экспериментальные результаты получены в результате научно-исследовательских работ, которые проводились под руководством и при непосредственном участии автора.

## **7. Соответствие работы заявленной специальности**

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

## **8. Апробация результатов работы**

Уровень апробации результатов диссертационной работы на международных и всероссийских конференциях, а также их опубликования в отечественных периодических научных изданиях представляется вполне достаточным и удовлетворяет требованиям пунктов 11 и 13 Положения о присуждении ученых степеней. Основные материалы по теме диссертации опубликованы автором (лично и в соавторстве) в 50 печатных трудах, в том числе в 37 публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК, их них 14 патентов на изобретения, 4 авторских свидетельства СССР, и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

## **9. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы рекомендуется использовать при актуализации Системного проекта «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации», при разработке проектов сетей цифрового радиовещания стран – членов РСС, при разработке методик расчетов ЭМС РЭС цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазонах НЧ и СЧ, а также при разработке и производстве передающего и приемного оборудования сетей цифрового радиовещания DRM и их антенных устройств.

## **10. Замечания по диссертации**

1. Название первой главы «Характеристики сетей радиовещания» звучит слишком обще. Это название следовало бы сформулировать ближе к решаемым задачам.

2. Данные по скоростям цифрового потока в различных режимах помехоустойчивости в таблице 1.1 не совпадают с указанными на рисунке 1.2.

3. При разработке примера топологии сети цифрового радиовещания РФ не учитывались помехи от станций других стран в темное время суток.

4. Из материалов главы 7 в явном виде не следует, какой режим помехоустойчивости и какая скорость передачи данных используется в разработанном примере топологии сети ЦРВ для РФ.

Несмотря на отмеченные недостатки, работа в целом заслуживает положительной оценки.

## **11. Заключение**

Диссертационная работа Варламова О.В., в соответствии с пунктом 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г. с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ №335 от 21.04.2016 г., далее – Положение), является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, а именно - технология создания сети государственного наземного цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации, основанная на предложенном и разработанном автором методе крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ.

В диссертации, в соответствии с пунктом 14 Положения, имеются все необходимые ссылки на авторов и источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя. Каких-либо признаков плагиата или недобросовестного цитирования не обнаружено.

Автореферат диссертации в достаточной мере отражает ее содержание и удовлетворяет требованиям пункта 25 Положения.

Работа соответствует заявленной специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», и удовлетворяет требованиям Положения, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Варламов Олег Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Отзыв подготовили:


Гавлиевский Серго Леонидович, доктор технических наук, 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», главный научный сотрудник, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт радио» (ФГУП НИИР), Самарский филиал (филиал ФГУП НИИР – СОНИИР), Россия, 443011, г. Самара, ул. Советской армии, 217, тел.: +7 (846) 926-14-50, e-mail: gsl@soniir.ru.

Кокошкин Игорь Валентинович, кандидат технических наук, доцент, 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», начальник испытательного центра, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт радио» (ФГУП НИИР), Россия, 105064, г. Москва, ул. Казакова, 16, тел.: +7 (499) 261-02-07, e-mail: ivk@niir.ru.


Юдин Вячеслав Викторович, доктор технических наук, профессор, 05.12.07 – «Антенны, СВЧ устройства и их технологии», начальник лаборатории, Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт радио» (ФГУП НИИР), Самарский филиал (филиал ФГУП НИИР – СОНИИР), Россия, 443011, г. Самара, ул. Советской армии, 217, тел.: +7 (846) 933-86-17, e-mail: uvv@soniir.ru.

Диссертация, автореферат и отзыв на диссертацию обсуждены на заседании научно-технического совета Самарского филиала ФГУП НИИР – СОНИИР (протокол заседания НТС № 3/17 от 20 апреля 2017 г.).


Главный научный сотрудник филиала  
ФГУП НИИР – СОНИИР, д.т.н., г.н.с.

  
\_\_\_\_\_/С.Л. Гавлиевский/  
«21» 04 2017 г.

Начальник испытательного центра  
ФГУП НИИР, к.т.н., доцент

  
\_\_\_\_\_/И.В. Кокошкин/  
«25» 04 2017 г.


Начальник лаборатории филиала  
ФГУП НИИР – СОНИИР, д.т.н., профессор

  
\_\_\_\_\_/В.В. Юдин/  
«21» 04 2017 г.

Подписи С.Л. Гавлиевского, И.В. Кокошкина, В.В. Юдина заверяю.

Директор службы персонала ФГУП НИИР



  
\_\_\_\_\_/В.А. Тютюнова/  
«23» 04 2017 г.