

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Варламова Олега Витальевича «Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

### Актуальность диссертации

Работа Варламова О.В. посвящена разработке технологии создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации. Существовавшая ранее аналоговая сеть мощного радиовещания не обеспечивала покрытия всей территории РФ, характеризовалась высокими затратами на электроэнергию и низким качеством сигнала в темное время суток.

Реализуемая в настоящее время ФЦП «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 – 2018 годы» позволит обеспечить охват населения цифровым телевизионным вещанием в местах постоянного проживания до 98,3%, но при этом более половины территории РФ останутся не покрыты наземным эфирным телевидением. Для информационного обслуживания этой малонаселенной, находящейся в северных регионах территории, где во многих случаях не принимаются сигналы от геостационарных спутников, целесообразно использование диапазонов НЧ, СЧ и ВЧ, в которых Распоряжением Правительства РФ от 28 марта 2010 г. № 445-р признано целесообразным внедрение системы цифрового радиовещания DRM.

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. Масштабных сетей цифрового радиовещания, обслуживающих большие территории, в настоящее время в мире не существует. 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.

### Степень разработанности темы

Первая версия стандарта цифрового радиовещания DRM была опубликована в сентябре 2001 года. Начавшееся в 2002 году крупнейшими международными вещателями (BBC, DW, RFI, с 2003 года – Голос России) регулярное вещание в диапазонах СЧ и ВЧ позволило исследовательским подразделениям вещателей собрать большой объем статистических данных о параметрах системы, которые легли в основу ряда Рекомендаций и других документов МСЭ. Следует отметить, что международных вещателей в первую очередь интересовала возможность организации иновещания в диапазоне ВЧ.

Вход. № 63/14  
«06» 09 2014 г.  
подпись

В целом, вопросы применения системы цифрового радиовещания стандарта DRM (относительно новой, и требующей для изучения своих характеристик значительных ресурсов – использования мощных радиовещательных передатчиков и крупногабаритных антенных систем) к настоящему времени исследованы недостаточно полно, особенно в диапазоне НЧ. Вопросы гарантированного покрытия значительных по площади территорий также не рассматривались.

Варламов О.В. в своей диссертации разрабатывает технологию создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для РФ, основанную на предложенном автором методе крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ. В этом диапазоне имеется 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.

Автором диссертации поставлены и решены все основные необходимые для разработки технологии создания сети государственного цифрового радиовещания задачи:

- проведен анализ качественных характеристик системы DRM, эффективности систем наземного вещания в различных диапазонах частот, разработана и проанализирована нормативно-правовая база ее применения;
- исследованы требования к характеристикам оборудования сети радиовещания и разработаны решения по использованию в цифровом режиме передающего и приемного оборудования, а также их антенных систем;
- исследованы радиочастотные защитные отношения и разработаны технические основы методики частотно-территориального планирования;
- определены параметры сети для переходного периода;
- на основании предложенного автором метода крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ разработана топология сети государственного наземного цифрового радиовещания стандарта DRM для РФ.

### **Структура диссертации и ее основные результаты**

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

Во **введении** обосновывается актуальность темы, формулируются цели и задачи работы, указывается научная новизна и значимость полученных соискателем результатов для практики, приводятся основные защищаемые положения.

В **первой главе** проводится анализ общих характеристик сетей радиовещания. Рассматриваются качественные характеристики звукового тракта в системе DRM при различных скоростях передачи данных и используемых аудиокодеров, и сравниваются радиусы зон покрытия одного и того же передатчика в режимах АМ и DRM. Проводится сравнительный анализ эффективности аналогового и цифрового вещания в различных диапазонах

частот. Делается вывод, что минимальная стоимость гарантированного обслуживания территории достигается в режиме DRM в диапазоне НЧ.

Во **второй главе** проводится анализ передающих устройств стандарта DRM. Рассматриваются способы построения мощных радиовещательных передатчиков с высоким КПД диапазонов НЧ, СЧ и ВЧ и их основных энергоемких узлов: радиочастотного и модуляционного трактов. На основании проведенного моделирования формулируются требования к передающим устройствам и разрабатываются требования к характеристикам линейных и высокоэффективных передатчиков: с отдельным усилением, с цифровым преобразованием огибающей, и построенных по методу дефазирования.

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

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

В **пятой главе** автором проводится анализ радиочастотных защитных отношений и работы сети ЦРВ в переходный период. Следует отметить, что распространение DRM сигнала с OFDM модуляцией (с практически равномерным спектром в полосе 10 кГц, с использованием помехоустойчивого кодирования и перемежения) через многолучевой канал, существенным образом отличается от распространения традиционно применявшегося в радиовещании сигнала с амплитудной модуляцией – прежде всего меньшей интегральной глубиной быстрых замираний. Полученные на лабораторной измерительной установке значения отдельных величин защитных отношений учитывают прохождение полезного сигнала через каналы распространения, модели которых приведены в стандарте DRM, подтверждены эфирными измерениями и дополняют данные МСЭ. Разработанная методика расчета защитных отношений для сигнала ЦРВ при одновременном воздействии произвольного количества мешающих сигналов учитывает частотные отстройки помех, их спектры, и степени влияния на DRM сигнал с помехоустойчивым кодированием и перемежением. Данная методика также 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 достигается равенство зон обслуживания в обоих режимах с сохранением

качества приема аналогового сигнала для большинства имеющихся у населения АМ приемников, что актуально для переходного периода.

**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. Для цифровых систем, характеризующихся пороговым характером приема, планирование следует проводить более точно, учитывая, в том числе и факторы, которыми обычно пренебрегали при планировании аналоговых сетей радиовещания. Автором проведены измерения напряженности поля помех от различных бытовых электро- и радиоприборов. Выполнен анализ атмосферных шумов и рассмотрено распределение атмосферных шумов по территории Земли. Получена оценка максимально ожидаемой напряженности поля атмосферных радиозумов в полосе 10 кГц, превышаемой в течение 2% времени, для различных частот диапазонов НЧ и СЧ в отдельных районах северных, средних и тропических широт. Показана необходимость расчетов напряженности поля атмосферных шумов при определении зоны обслуживания передатчика в каждом географическом регионе.

Приводятся результаты проведенных под руководством автора масштабных 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. Проведенные измерения показывают, что в светлое время суток в диапазоне СЧ площадь зоны обслуживания в режиме DRM при качестве аудиосигнала, близком к УКВ ЧМ, в 9 раз больше, чем в режиме АМ, при мощности DRM-передатчика в 2 раза меньше.

**В седьмой главе** проводится 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. Определены расстояния между передатчиками (кластерами), на которых возможно повторное использование частот. 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. При этом для минимизации нового строительства задействовано две трети радиочастот из системного проекта 2011 года «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации».

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

Список литературы, насчитывающий 172 наименования, в достаточной мере отражает полноту публикаций по исследуемому направлению.

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.

### **Научная новизна основных результатов работы**

Среди новых научных результатов О.В. Варламова можно выделить следующие:

- предложенный автором метод частотно-территориального планирования с использованием крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ для построения глобальных сетей цифрового радиовещания;

- разработанные 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;

- полученные 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;

- определенные отдельные величины защитных отношений с учетом 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;

- разработанную методику расчета защитных отношений для сигнала ЦРВ при одновременном воздействии произвольного количества мешающих сигналов;

- разработанный 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;

- предложенный способ расширения полосы согласования передающих вещательных антенных систем диапазонов НЧ и СЧ на основе применения частотно-расширительных цепей с потерями и разработанную методику расчетов частотно-расширительных цепей.

### **Практическая ценность**

Говоря о практической значимости результатов диссертации, следует выделить комплексный подход к решению задачи, выраженный в решении всех

существенных проблем, возникающих при создании сети вещания РФ. В частности:

- предложенный метод частотно-территориального планирования с использованием крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания позволил разработать топологию сети государственного наземного цифрового радиовещания стандарта DRM для РФ в диапазоне НЧ в условиях ограниченного частотного ресурса, оставив свободные частоты для стран РСС и для большинства территориально крупных стран 1-го региона МСЭ;

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

- показанная возможность одновременной передачи цифрового и аналогового сигнала с соотношением мощностей около 10 дБ позволяет обеспечить примерное равенство зон покрытия при работе в режиме Simulcast в переходный период с незначительным ухудшением качества приёма аналогового сигнала для большинства имеющихся у населения АМ приемников;

- 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;

- 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);

- 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, используются разработчиками бытовых и измерительных приемников DRM;

- 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, в том числе в режиме Simulcast с двойной полосой частот в верхней половине диапазона НЧ, что обеспечивает возможность построения сети вещания с частичным использованием существующей инфраструктуры.

## **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Теоретические положения диссертационного исследования основываются на использовании теории распространения радиоволн, 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.

Достоверность и обоснованность научных положений диссертации обеспечивается также достаточным совпадением результатов моделирования и большого количества эфирных экспериментов.

Основные положения диссертации неоднократно докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научно-технических конференциях, публиковались в рецензируемых журналах.

Теоретические и прикладные результаты диссертационной работы Варламова О.В. были использованы при подготовке двух вкладов администрации связи РФ в МСЭ, трех решений ГКРЧ, при выполнении системного проекта «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации» (заказчик ФГУП «РТРС»), при разработке проекта топологии сети цифрового радиовещания Республики Казахстан. Результаты исследований, проведенных в диссертации, используются в учебном процессе МТУСИ в трех программно-аппаратных лабораторных работах, а также при выполнении магистрантами МТУСИ выпускных квалификационных работ. Внедрение подтверждается актами, приложенными к диссертации.

Автореферат соответствует диссертации и в достаточной мере отражает ее содержание. Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы автором в цитируемых в диссертации 50-ти научных работах, включая 18 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 18 патентов и авторских свидетельств на изобретения, и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

### **Замечания по диссертации**

1. В работе не приведены сведения о требованиях на точность установки частоты передатчиков, работающих в одночастотной сети, и оборудовании, обеспечивающем синхронную передачу контента.

2. Не рассмотрены возможные вариации мешающих сигналов в случае одновременного воздействия произвольного количества помех.

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

4. В разработанном примере архитектуры сети радиовещания РФ не указаны рабочие частоты передатчиков (Таблица 7.1).

5. На рисунке примера архитектуры сети радиовещания РФ (рисунок 7.17 диссертации и рисунок 17 автореферата) не подписано название одного из передатчиков.

Отмеченные замечания не влияют на главные теоретические и экспериментальные результаты диссертации.

### Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены результаты, позволяющие квалифицировать их как новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы.

Работа базируется на достаточном числе исходных данных, примеров и расчетов. Она написана технически грамотно и аккуратно оформлена. По каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы.

Представленные в диссертации результаты соответствуют паспорту научной специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа «Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации» отвечает требованиям п.п. 9, 10, 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Варламов Олег Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Официальный оппонент,  
зав. кафедрой Радиотехники и связи  
Радиотехнического факультета  
ФГБОУ ВО «ПГТУ»,  
д.ф.-м.н., профессор

Рябова Н.В.



ЗАВЕРЯЮ:

начальник управления кадров  
и документооборота  
Поволжского государственного  
технологического университета

*Михаилова Е. Ю.*  
*19.04.2017*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет» (ФГБОУ ВО «ПГТУ»)

424000, Россия, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3.

Тел. [redacted] E-mail: [redacted]@volgatech.net