



МИНИСТЕРСТВО  
ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ  
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«Ордена Трудового Красного Знамени  
Российский научно-исследовательский  
институт радио имени М.И. Кривошеева»  
(ФГБУ НИИР)**

Почтовый адрес: Казакова ул., д. 16, Москва, 105064  
Телефон: (495) 647-17-77, факс: (499) 261-00-90  
E-mail: [info@niir.ru](mailto:info@niir.ru), <http://www.niir.ru>  
ОКПО 56622156, ОГРН 1227700388827  
ИНН/КПП 9709082715/770901001

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального  
директора ФГБУ НИИР, к.т.н.,



М.Ю. Сподобаев

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Ордена  
Трудового Красного Знамени Российский научно-исследовательский  
институт радио имени М.И. Кривошеева»

на диссертацию Соколова Сергея Анатольевича на тему «Исследование характеристик системы цифрового радиовещания DRM и разработка рекомендаций по её применению в Российской Федерации в диапазоне ОВЧ», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13. Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

### 1. Актуальность темы диссертации

Диссертация Соколова С.А. посвящена разработке рекомендаций по применению в Российской Федерации (РФ) системы цифрового радиовещания DRM в диапазоне ОВЧ.

Более половины территории РФ в настоящее время не покрыты телевизионным вещанием. Для обслуживания этой малонаселенной, находящейся в северных регионах территории, где во многих случаях уже не

принимаются сигналы от геостационарных спутников, целесообразно использование диапазонов низких (НЧ), средних (СЧ) и высоких (ВЧ) частот.

Россия, в отличие от США, Индии, КНР, и других стран с большой территорией, находится в 1-м регионе международного союза электросвязи (МСЭ), где разрешено использование для радиовещания диапазона НЧ. Этот диапазон предоставляет уникальную возможность организации зоны радиовещания с радиусом более 600 км от передатчика независимо от солнечной активности и времени суток, что особенно актуально для обслуживания малонаселенных и северных территорий. Для диапазона НЧ МСЭ рекомендована для применения только система цифрового радиовещания DRM. Стандарт DRM единственный из рекомендованных МСЭ может использоваться во всех полосах частот, выделенных для наземного радиовещания в диапазонах НЧ, СЧ, ВЧ, ОВЧ.

Распоряжением Правительства от 28 марта 2010 г. № 445-р признано целесообразным внедрение в РФ системы цифрового радиовещания DRM, работающей в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ. Выбор стандарта ЦРВ для диапазона ОВЧ в РФ на данный момент не закончен. Однако, в случае выбора системы DRM для диапазона ОВЧ могла бы произойти синергия в части роста количества цифровых DRM-приемников у населения, которые бы обеспечивали возможность принимать сигналы радиостанций в формате DRM как в диапазоне НЧ, так и в диапазоне ОВЧ.

В настоящее время Россия стоит перед выбором стратегии развития радиовещания на ближайшие десятилетия. Поэтому задача разработки рекомендаций по применению в Российской Федерации системы цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазоне ОВЧ, исследования характеристик этого стандарта, является актуальной, важной народнохозяйственной задачей и вносит значительный вклад в развитие страны. Решению именно этого комплекса задач посвящена диссертационная работа Соколова Сергея Анатольевича.

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

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, списка сокращений и обозначений и трех 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 состояния наземного цифрового радиовещания в России и в мире. Проведен сравнительный анализ систем цифрового радиовещания, рекомендуемых МСЭ для применения. Рассмотрены научные публикации, посвященные исследованию характеристик систем цифрового радиовещания.

Во **второй главе** разработана структура и реализован экспериментальный тракт совместной передачи в одном радиоканале

программ аналогового и цифрового радиовещания в форматах ЧМ/DRM в диапазоне ОВЧ. Рассмотрены варианты структур трактов передачи в одном радиоканале программ аналогового и цифрового радиовещания. Выбрана схема с общим усилителем мощности. Показана необходимость добавления в структурную схему экспериментального тракта звукового вещательного процессора. Проведены измерения параметров ЧМ- и DRM-трактов на предмет их соответствия требованиям стандартов и рекомендаций МСЭ.

В **третьей главе** выполнена сравнительная оценка качества приема программ ЧМ- и DRM-радиовещания и исследовано качество алгоритмов компрессии звуковых сигналов радиовещания, используемых в системе DRM. Приведены результаты субъективно-статистических экспертиз, которые показали, что скорость цифрового потока на выходе кодера MPEG-4 xHE-AAC равная 30 кбит/с – это наименьшее значение, при котором качество принятого сигнала имеет отличие от исходного сигнала, практически незаметное для большинства обычных слушателей при прохождении DRM-тракта.

В **четвертой главе** разработана методика расчета радиуса зоны покрытия DRM-передатчика, работающего в диапазоне ОВЧ, и осуществлена оценка его энергетической эффективности по сравнению с ЧМ-радиовещанием. Проанализированы и сопоставлены данные натурных испытаний и теоретических расчетов с использованием рекомендаций МСЭ. Показано, что наибольший энергетический выигрыш при переходе к ЦРВ в формате DRM (режим устойчивости E) имеет место при стационарном приеме в крупных мегаполисах, где особенно велик уровень индустриального шума, а наименьший – в сельской зоне. Оценка энергетического выигрыша рассчитана для всех условий приема и режимов работы DRM-передатчика, подтверждена экспериментально (кроме стационарного) также и для мобильного приема, что особенно важно для практики.

В **пятой главе** разработаны требования по электромагнитной совместимости (ЭМС) станций наземного цифрового звукового радиовещания стандарта DRM при работе в диапазоне ОВЧ. Определены базовые защитные (ЗО) отношения по радиочастоте (РЧ) для системы ЦРВ стандарта DRM с существующими аналоговыми системами ЧМ-радиовещания и телевидения стандарта D/SECAM для диапазона ОВЧ. Разработан, применен и проверен на практике метод измерения базовых защитных отношений (ЗО) по РЧ при взаимном влиянии станций ЦРВ стандарта DRM со станциями аналогового ЧМ-радиовещания и телевизионного вещания стандарта D/SECAM. Полученные значения ЗО по РЧ подтвердили возможность осуществлять ЦРВ стандарта DRM в полосах частот 65,9...74 МГц и 87,5...108 МГц без помех для действующих ЧМ-радиостанций.

В **шестой главе** разработаны рекомендации по применению системы цифрового радиовещания DRM в Российской Федерации в полосах частот 87,5...108 МГц и 65,9...74 МГц диапазона ОВЧ. Приведена рекомендуемая

структурная схема передающего комплекса для совместной передачи в общем радиоканале программы аналогового и трёх программ цифрового радиовещания стандарта DRM. Приведена рекомендуемая спектральная маска, определяющая пределы для внеполосных излучений объединенного ЧМ/DRM-радиосигнала. Сформулированы этапы перехода от аналогового к цифровому радиовещанию в диапазоне ОВЧ и необходимые для этого изменения нормативно-правовой базы. Затронута тема о необходимости регулирования рынка приёмного оборудования.

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

В **приложениях** приведены спецификация, характеристики и настройки оборудования, использованного в экспериментальном тракте совместной передачи в общем радиоканале программ аналогового и цифрового радиовещания в форматах ЧМ/DRM в диапазоне ОВЧ, а также проект формы бланка приложения к лицензии на осуществление радиовещания, в котором дополнительно указывается центральная частота полосы излучения цифрового сигнала.

### **3. Научная новизна основных результатов работы, выводов и рекомендаций**

На основании рассмотрения диссертации и опубликованных в периодических изданиях научных трудов автора можно выделить следующие новые научные результаты, полученные лично Соколовым С.А.

1. Впервые представлена структурная схема оборудования, позволяющая организовать цифровое DRM-радиовещание на объектах РТПС с сохранением аналогового ЧМ-радиовещания и использованием существующего антенно-фидерного оборудования.

2. Впервые дана оценка качества кодека MPEG-4 xHE-AAC для разных значений скорости цифрового потока на выходе кодера не методом сравнительной оценки с испытательным студийным сигналом на его входе, а при сравнении с сигналом ЧМ-радиовещания при радиоприеме.

3. Изложен метод расчета радиуса зоны покрытия DRM-передатчиков, работающих в диапазоне ОВЧ, основанный на учете первичных сведений, имеющихся в рекомендациях МСЭ-R P.1546-7 и МСЭ-R BS.1660-8. Приведены результаты вычислений и натурных измерений, подтверждающие достоверность получаемых результатов. В отличие от МСЭ-R P.1546-7, представленная методика расчета радиуса зоны покрытия DRM-передатчика в диапазоне ОВЧ, может использоваться для любых исходных параметров расчета, путем интерполяции и экстраполяции экспериментальных данных.

4. Впервые получены и экспериментально проверены значения ЗО по РЧ для всех режимов работы DRM-передатчика, в том числе в полосе частот 65,9...74 МГц диапазона ОВЧ для системы ЧМ-радиовещания с полярной модуляцией.

#### **4. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов**

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, полученных в диссертационной работе, подтверждена корректностью применяемых методов, широким использованием при проведении исследований и расчетов рекомендаций и отчетов МСЭ, данными экспериментальных исследований, выполненных автором, согласованностью с результатами ведущих мировых и отечественных ученых в данной области, обсуждением основных результатов на международных и национальных конференциях, публикациями в ведущих рецензируемых изданиях.

#### **5. Практическая ценность**

1. Разработанная структурная схема оборудования совместной передачи в общем радиоканале программ аналогового и цифрового радиовещания в форматах ЧМ/DRM в диапазоне ОВЧ адаптирована для объектов РТПС и может использоваться в качестве типовой структуры при развертывании сетей ЦРВ стандарта DRM в диапазоне ОВЧ в Российской Федерации.

2. Алгоритм расчета радиуса зон покрытия цифровых DRM-передатчиков, работающих в диапазоне ОВЧ, может использоваться в качестве основы при частотном планировании сетей ЦРВ, а также для расчета зон покрытия передатчиков DRM-радиовещания, работающих в диапазоне ОВЧ.

3. Полученное в работе значение минимальной скорости цифрового потока может использоваться в нормативно-правовых актах, определяющих число и требуемое на практике качество звуковых программ для каждого из режимов работы DRM-передатчика и условий приема.

4. Полученные значения ЗО по РЧ могут использоваться РТПС при частотном планировании сетей ЦРВ и Государственной комиссией по радиочастотам (ГКРЧ) при разработке норм и оценке ЭМС станций цифрового радиовещания DRM, работающих в полосах частот 65,9...74 МГц и 87,5...108 МГц диапазона ОВЧ.

#### **6. Личный вклад автора**

Все выносимые на защиту научные положения и результаты, составляющие основное содержание диссертационной работы, разработаны и получены лично автором. 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 2.2.13 – «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 18 печатных трудах, в том числе в 6 изданиях, рекомендованных ВАК.

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

Основные положения, результаты и выводы диссертационной работы рекомендуется использовать при разработке проектов сетей цифрового радиовещания, методик расчетов и отечественных норм на параметры ЭМС РЭС цифрового радиовещания стандарта DRM в диапазоне ОВЧ, а также при разработке и производстве передающего и приемного оборудования сетей цифрового радиовещания DRM и их антенных устройств.

## **10. Замечания по диссертации**

1. В первой главе слишком много внимания уделено мощному ЦРВ в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ, в то время как работа посвящена применению системы DRM в диапазоне ОВЧ. Следовало бы сфокусироваться на международном опыте применения систем ЦРВ именно в диапазоне ОВЧ. Не достает более подробных данных об опыте использования системы DRM в диапазоне ОВЧ в Африке, Индии и других странах Азии.

2. Следовало бы больше внимание уделить проблеме дистанционного управления режимами работы передающего ЧМ/DRM-тракта, оперативной оценке его текущих параметров качества, проблеме выбора контрольно-измерительного оборудования.

3. В работе исследовано качество кодека MPEG-4 xHE-AAC при его работе в разработанном передающем тракте совместной передачи в общем радиоканале программ аналогового и цифрового радиовещания. Однако, в стандарте на систему DRM рекомендовано также и использование более ранней версии кодека MPEG-4 HE-AAC v.2. Наличие этих данных также было бы полезно для практики.

4. Недостаточно полно представлено содержание тест-программы для проведения субъективно-статистических экспертиз при исследовании качества кодека MPEG-4 xHE-AAC, а именно: соотношение жанров, значений динамического диапазона и спектрального состава отобранных пар звучаний.

5. Разработанный метод расчета радиуса зоны покрытия цифровых DRM-передатчиков не позволяет выделить локальные области внутри этой зоны, где прием, вследствие особенностей распространения, многолучевости

и свойственного системам цифрового радиовещания порогового эффекта, оказывается невозможным.

6. Предложенный автором метод оценки требуемой минимальной напряженности электромагнитного поля для режимов работы DRM-передатчика при других значениях скорости кода и видов модуляции, не представленных в рекомендациях МСЭ, требует, на наш взгляд, дополнительного уточнения.

7. Не приведены результаты оценки влияния пик-фактора DRM-сигнала на величину требуемых ЗО по РЧ.

Несмотря на отмеченные выше недостатки, работа несомненно заслуживает положительной оценки.

## **11. Заключение по работе**

Диссертационная работа Соколова С.А., 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 законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технические, технологические и иные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, а именно - рекомендации по применению в Российской Федерации в диапазоне ОВЧ стандарта цифрового радиовещания DRM, основанные на выполненных автором исследованиях характеристик этой системы.

В диссертации, в соответствии с пунктом 14 Положения, имеются все необходимые ссылки на авторов и на источники заимствованных материалов, в том числе – на научные работы соискателя.

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

Работа соответствует заявленной специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения», и удовлетворяет требованиям Положения, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Соколов Сергей Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по данной специальности.

Отзыв на диссертацию Соколова Сергея Анатольевича на тему «Исследование характеристик системы цифрового радиовещания DRM и разработка рекомендаций по её применению в Российской Федерации в диапазоне ОВЧ», подготовлен начальником испытательного центра ФГБУ НИИР кандидатом технических наук, доцентом Кокошкиным Игорем Валентиновичем и начальником сектора НТЦ анализа ЭМС ФГБУ НИИР Дотолевым Валерием Григорьевичем.

Отзыв заслушан, обсуждён и одобрен на заседании Научно-технического совета НТЦ Анализа ЭМС ФГБУ НИИР 18 апреля 2023 г. Протокол № 3 от 18.04.2023 г.

к.т.н., доцент,  
начальник испытательного центра,  
ФГБУ «НИИР»

Тел. +7 499-261-0207

Эл.почта ivk@niir.ru

Кокошкин Игорь Валентинович

начальник сектора НТЦ Анализа ЭМС  
ФГБУ «НИИР»

Тел. +7 495-647-1777 д.1040

Эл.почта v.dotolev@niir.ru

Дотолев Валерий Григорьевич

20.04.2023

Подписи Кокошкина И.В. и Дотолева В.Г. заверяю

Учёный секретарь ФГБУ «НИИР»

М. М. Ступницкий