

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 219.001.04 НА БАЗЕ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ И ИНФОРМАТИКИ», ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 18 мая 2017 г. № 8

О присуждении Варламову Олегу Витальевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Технология создания сети цифрового радиовещания стандарта DRM для Российской Федерации» по специальности 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» принята к защите 07.02.2017 г., протокол № 13 диссертационным советом Д 219.001.04, созданным на базе ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ), Федеральное агентство связи, 111024, г. Москва, ул. Авиамоторная, д. 8а, приказ о создании совета - № 244/нк от 03.03.2016 г.

Соискатель Варламов Олег Витальевич 1964 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Исследование и разработка цифрового усилителя мощности ОМ сигналов с компенсацией ошибок квантования» защитил в 1993 году по специальности 05.12.17 – «Радиотехнические и телевизионные системы и устройства» в диссертационном совете, созданном на базе Московского ордена Трудового Красного Знамени технического университета связи и информатики, работает начальником научного отдела «Информационных ресурсов и интеллектуальной собственности» в ордена Трудового Красного Знамени федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский технический университет связи и информатики», Федеральное агентство связи.

Диссертация выполнена на кафедре Радиооборудования и схемотехники ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ), Федеральное агентство связи.

Научный руководитель (консультант) – не назначался.

Официальные оппоненты:

1. Елисеев Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», кафедра Радиосвязи, радиовещания и телевидения, заведующий кафедрой;

2. Ковалгин Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», кафедра Радиосвязи и вещания, профессор;

3. Рябова Наталья Владимировна, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», кафедра Радиотехники и связи Радиотехнического факультета, заведующая кафедрой

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Федеральное государственное унитарное предприятие ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт радио (ФГУП НИИР), г. Москва, в своем положительном заключении, обсужденном на заседании научно-технического совета Самарского филиала ФГУП НИИР – СОНИИР, подписанном Гавлиевским Серго Леонидовичем, доктором технических наук, главным научным сотрудником филиала ФГУП НИИР – СОНИИР, Кокошкиным Игорем Валентиновичем, кандидатом технических наук, доцентом, начальником испытательного центра ФГУП НИИР, Юдиным Вячеславом Викторовичем, доктором технических наук, профессором, начальником лаборатории филиала ФГУП НИИР – СОНИИР, и утвержденном Бутенко Валерием Владимировичем, доктором технических наук, генеральным директором ФГУП НИИР, указала, что диссертация 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. 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.

Соискатель имеет 50 опубликованных работ, из них в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ 37 работ, в том числе 14 патентов на изобретения, 4 авторских свидетельства СССР, и одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Общий объем – 23,7 печатных листов, в том числе 7,6 печатных листов в публикациях без соавторов.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:**

1. Варламов, О.В. Разработка высокоэффективного модуляционного тракта для ВЧ усилителя мощности с отдельным усилением составляющих однополосного сигнала / О.В.Варламов // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2011. – №9. – С. 45-46.

2. Варламов, О.В. Расширение полосы согласования передающих вещательных антенных систем диапазона ДВ для работы в режиме DRM / О.В.Варламов, В.Д.Горегляд // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №1. – С. 18-22.

3. Варламов, О.В. Разработка алгоритма и программных средств проектирования антенно-согласующих цепей цифровых радиовещательных передатчиков стандарта DRM / О.В.Варламов // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – №2. – С. 47-50.

4. Варламов, О.В. Разработка отечественной нормативной базы цифрового радиовещания стандарта DRM / О.В.Варламов // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – Т. 7. – № 9. – С. 47-50.

5. Варламов, О.В. Особенности частотно-территориального планирования сетей радиовещания DRM диапазонов НЧ и СЧ / О.В.Варламов // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – № 9. – С. 43-46.

6. Варламов, О.В. Разработка требований к приемному оборудованию сетей цифрового радиовещания стандарта DRM / О.В.Варламов // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2013. – № 9. – С. 39-42.

7. Варламов, О.В. Качественные характеристики звукового тракта в системе DRM / О.В.Варламов // Век качества. – 2014. – № 1. – С. 48-52.

8. Варламов, О.В. Research of influence of DRM broadcast transmitter nonlinearities onto the output signal parameters / О.В.Варламов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – № 2. – С. 59-60.

9. Варламов, О.В. Корректное планирование сетей DRM вещания / О.В.Варламов // Электросвязь. – 2014. № 6. – С. 26-34.

10. Варламов, О.В. Использование необыкновенной волны для цифрового радиовещания DRM зенитным излучением / О.В.Варламов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – № 1. – С. 32-38.

11. Варламов, О.В. Исследование цифрового радиовещания DRM в диапазоне СВ в зоне фединга / О.В.Варламов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т. 9. – № 2. – С. 41-45.

12. Varlamov O. The radio noise effect on the coverage area of DRM broadcast transmitter in different regions // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Т.9. – № 2. – С. 90-93.

13. Варламов, О.В. Способ организации глобальной сети цифрового радиовещания в диапазоне ДВ / О.В.Варламов // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – № 5. – С. 63-68.

14. Varlamov O.V. Analog to digital signal power ratio in simulcast DRM transmission // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Т. 10. – №12. – С. 81-84.

**На диссертацию поступили отзывы:**

1. От официального оппонента, заведующего кафедрой «Радиосвязи, радиовещания и телевидения» ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», д.т.н., профессора Елисеева Сергея Николаевича. Отзыв положительный и содержит следующие замечания:

1) Рассмотрение влияния промышленных помех в диссертации носит довольно общий характер и выполняется без учёта особенностей источников помех, например систем связи по высоковольтным линиям электропередач и модемов xDSL использующих сигналы OFDM и частоты диапазонов ДВ и СВ. Также не рассмотрены вопросы ЭМС с системами аэронавигации диапазона 225-405 кГц;

2) Требования к параметрам сигнала DRM модулятора (частотная расстройка, неточность синхронизации временных параметров, разбаланс квадратурных

компонент сигнала и т.д.), их влияние на помехоустойчивость системы в частности для режима SFN (одночастотное синхронное вещание); 3) При создании единой глобальной сети синхронного DRM вещания на территории РФ не очевидна необходимость создания её фрагмента на территории европейской части страны, которая достаточно насыщена средствами телерадиовещания; 4) Вопросы одновременного использования режимов SFN и Simulcast целесообразно рассмотреть отдельно на предмет уточнения возможных ограничений; 5) Тезис об отказе от оценки параметра «вероятности ошибок» по причине продолжительности этой процедуры (стр.50) в пользу измерений величины отношения сигнал/шум не выглядит убедительным, поскольку обе эти статистические величины взаимосвязаны и достоверность оценки сигнал/шум потребует выполнения не менее длительной процедуры. Кроме того далее в п.2.3.1(стр.79) автор указывает на проблемы точного измерения аналогового параметра MER по причине «сложной помеховой обстановки на радиоцентре»; 6) Закон распределения вероятностей для продуктов нелинейности не является строго Гауссовским и влияние их на сигнал отличается от влияния шумов: увеличение мощности сигнала не ведёт к увеличению отношения сигнал/помеха. Кроме того уровни помехи зависят от кратности модуляции в OFDM системе; 7) Многонациональный состав населения РФ вероятно потребует организации в каждом кластере многопрограммного вещания на разных языках. Для качественного удовлетворения этой потребности следует рассмотреть техническую целесообразность организации каналов с полосой частот более 10кГц; 8) При оформлении работы ряд формул не пронумерован и не расшифрованы входящие в них величины (стр.56, 70, 95 и др.).

2. От официального оппонента, профессора кафедры «Радиосвязи и вещания» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», д.т.н., профессора Ковалгина Юрия Алексеевича. Отзыв положительный и содержит следующие замечания:

1) Автором отмечено наличие сдвига частот в алгоритмах компрессии цифровых аудиоданных, рекомендованных для применения в системе DRM. Причина данного явления не пояснена, не уточнены также и режимы работы кодера (AAC, AAC+SBR, CELP, CELP+SBR, PS, HVXC), при которых это явление наблюдается; 2) Отсутствуют рекомендации по выбору алгоритмов компрессии кодеров HE-AAC v.2 и xHE-AAC стандарта MPEG-4 для разных режимов работы передающего

тракта и выбранной полосе частот радиоканала; 3) Говорить о полосе модулирующих частот в цифровых системах радиовещания, где используется компрессия цифровых аудиоданных не совсем корректно, ибо несущие частоты радиоканала модулируются цифровым потоком, максимально допустимая скорость которого для звуковых данных зависит от выбранной полосы частот радиоканала, от уровня защиты цифровых данных, от типа модуляции несущих частот, все это множество факторов будет влиять на полосу частот канала звука; 4) Величина запаса в отношении сигнал/шум равная 10 дБ для сигнала передатчика (по отношению к требуемому для успешного приема значению этой величины 14,9...23,2 дБ) выбрана без должного теоретического обоснования, хотя накопленный опыт и не опровергает данного заключения; 5) Не исследовано влияние величины отношения сигнал/шум на выходе передающего тракта на размер зоны обслуживания передатчика с учетом распределения шумов и помех по территории зоны обслуживания передатчика; 6) Нормы на радиочастотный тракт приемника: динамический диапазон 84 (НЧ), 90 дБ (СЧ), 80 дБ (КВ), табл.4.6; на диапазон звуковых частот для разных полос частот радиоканалов (табл.4.7) требуют отдельного пояснения; 7) Автором подробно исследованы условия приема сигнала DRM внутри зоны обслуживания с учетом влияния множества факторов, однако пошаговой методики для оценки влияния изменения условий приема на качество декодирования звукового сигнала нет, хотя весь необходимый материал для ее создания получен; 8) Не рассмотрена проблема доставки сигнала звукового вещания как до кластерных зон одночастотных сетей, так и до передатчиков, работающих в одночастотной сети; 9) Не рассмотрены проблемы, вызывающие потерю синхронизма передатчиков, работающих в одночастотной сети.

3. От официального оппонента, заведующей кафедрой «Радиотехники и связи» Радиотехнического факультета ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», д.ф-м.н., профессора Рябовой Натальи Владимировны. Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 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.

4. От ведущей организации - ФГУП «Научно-исследовательский институт радио». Отзыв положительный и содержит следующие замечания: 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.

**На автореферат** поступили 15 положительных отзывов: ООО "Глобальные телерадиовещательные сети"; ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»; Московский Технологический университет (МИРЭА); ФГУП "Российская телевизионная и радиовещательная сеть"; ПАО "Российский институт мощного радиостроения"; ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»; ЗАО "Московский научно-исследовательский телевизионный институт"; ОАО "НПО Ангстрем"; ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет Имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»; ФНПЦ АО "Научно-производственное предприятие "Полет"; ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»; Республиканское государственное предприятие "Институт информационных и вычислительных технологий" КН МОН Республики Казахстан; Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи (ЛО ЦНИИС); Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского Министерства обороны Российской Федерации; Фирма RFmondial GmbH, Hannover, Germany.

**Замечания, полученные в отзывах на автореферат**, представлены в следующем обобщенном виде: 1) В работе не полностью нашел отражение вопрос возможности создания комплексной эфирной цифровой сети РФ, с применением

упомянутых в диссертации стандартов ЦРВ в диапазонах выше 30 МГц; 2) При экономических расчетах эксплуатации DRM сети на базе имеющихся у РТРС радиопередатчиков, незаслуженно «забыт» первый из модернизированных в 1999 году связных радиопередатчиков «Пурга», стоимость которого вместе с переделкой, более чем на порядок ниже нового. В 2010 году в сети DRM использовалось 8 таких радиопередатчиков; 3) В работе не упомянуты результаты эксплуатации сети радиовещания в стандарте DRM, осуществлявшейся с 2002 по 2013 год, созданной ООО «ГТРС» совместно с ФГБУ «Голос России», с использованием как отечественных, модернизированных передатчиков РТРС, так и зарубежных передатчиков ЦРВ; 4) Из автореферата не ясно, какой режим помехоустойчивости и какая скорость передачи данных используется в разработанном примере топологии сети ЦРВ для РФ; 5) На рисунке 17 автореферата не указано место расположения одного из используемых передатчиков; 6) В работе на рассмотрено влияние преднамеренных помех на работу сети вещания; 7) При формулировке первого положения, выносимого на защиту, автор пишет: «Новый метод частотно-территориального планирования с использованием крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ для построения глобальных сетей цифрового радиовещания, позволил разработать топологию сети государственного наземного цифрового радиовещания стандарта DRM, обеспечивающую покрытие всей территории РФ с меньшими затратами». При этом не ясно, по сравнению с чем обеспечивается уменьшение затрат; 8) На рисунке 3 обозначения осей приведены на английском языке, а на рисунке 8 по оси абсцисс указано «КГц»; 9) При разработке примера топологии сети цифрового радиовещания РФ не учитывались возможные помехи от передатчиков других стран в темное время суток; 10) Из автореферата не ясно, может ли предложенный способ расширения полосы согласования передающих вещательных антенных систем диапазонов НЧ и СЧ на основе применения частотно-расширительных цепей с потерями использоваться также в комплексах КВ радиосвязи с цифровыми сигналами и высокоэффективными передатчиками при работе на короткие антенны; 11) Во второй главе (стр.14 автореферата) рассматривается нелинейность амплитудной и фазо-амплитудной характеристик. Однако, судя по автореферату, в диссертации не рассматривалось влияние этих характеристик на качество приема DRM сигнала, хотя в шестой главе (стр. 24 автореферата) рассматривается экспериментальное исследование качества приема



этого сигнала; 12) В седьмой главе (стр. 27 автореферата) утверждается, что для осуществления частотно-территориального планирования на больших территориях, предложен метод использования крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания. Однако, данный метод впервые был предложен для частотно-территориального планирования синхронных зон в сети наземного цифрового ТВ вещания; 13) Какова доля отечественной промышленности при замене аналогового вещания на цифровое? 14) Какова длительность переходного периода? 15) Как влияет диссертационная работа на ответы на предыдущие два вопроса? 16) При формулировании научной новизны не указано в чем состоит отличие полученных результатов от известных;

17) Имеются редакционные замечания. По тексту автореферата встречается множество повторов, а именно – некоторые положения практически слово в слово присутствуют в разделах научная новизна или практическая ценность и в заключении. Например, п.7 практической ценности совпадает с п.6 положений, выносимых на защиту и с п.6 заключения и.т.д.; 18) Работа, на мой взгляд, ближе к специальности 05.12.13 –Системы, сети и устройства телекоммуникаций; 19) В предложенном способе расширения полосы согласования передающих вещательных антенн добротность корректирующей индуктивности принята равной 200, что для передатчиков с излучаемой мощностью в сотни киловатт сложно реализуемо; 20) На листе 10 автореферата сказано, что «Проведена разработка фрагментов отечественной нормативной базы цифрового радиовещания стандарта DRM ....». Однако такая база прописана в Рекомендациях МСЭ и вся Европа по ним работает. Поэтому не понятно, чем отличаются наши нормы от зарубежных. Наши «круче» или слабее? 21) На листе 10 автореферата показано, что «... разработана математическая модель РПДФ ...». Но не представлены структурная схема алгоритма, поясняющего его работу при оценке нелинейных искажений выходного сигнала; 22) Листы 14 и 15 автореферата: из рисунка 3,в не видно, что «... сигнал ЦРВ предъявляет достаточно жесткие требования к симметрии канальных сигналов РПДФ.»; 23) Листы 15 и 17 автореферата: не понятно, чем отличаются частотно-расширительные цепи (ЧРЦ) от антенно-согласующих цепей (АСЦ), ведь они реализуют одну задачу: согласование параметров передающих вещательных антенных систем диапазонов НЧ и СЧ с выходным сопротивлением передатчика? 24) Не приведено сравнение требований к параметрам вещательного тракта стандарта DRM в Рекомендациях

МСЭ и соответствующих, разработанных автором; 25) При имитационном моделировании отдельных величин защитных отношений с учетом каналов распространения не указано, что именно прошло через канал: полезный сигнал или помеха; 26) Возможность одновременного использования одночастотного синхронного режима работы и режима Simulcast вызывает сомнение, а из автореферата не ясно, планирует ли автор совместное применение данных режимов; 27) Ничего не сказано о координации плана создания сети наземного цифрового радиовещания стандарта DRM с аналогичными программами по радикальной модернизации российской телекоммуникационной системы в целом на основе концепции NGN (Next Generation Network); 28) Из автореферата не ясно, рассматривалась ли возможность применения полученных в ходе диссертационных исследований результатов в интересах силовых ведомств и служб; а также для каких условий обстановки предложенные решения целесообразны к использованию; 29) Из автореферата не понятно, возможна ли аппаратная реализация полученных результатов исследования автора на отечественной элементной базе в рамках действующей в РФ программы импортозамещения; 30) В автореферате указывается тот момент, что переход к ЦРВ обеспечит увеличение территории страны, на которой будет обеспечено вещание, но при этом не затрагивается вопрос необходимости приобретения населением специальных цифровых приемников, которые слабо распространены в РФ и, в настоящее время, являются дорогостоящими; 31) Как общий недостаток к оформлению автореферата можно отнести мелкий масштаб и монохромность представленных рисунков, что затрудняет восприятие излагаемых материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующими обстоятельствами:

1. Доктор технических наук, профессор Елисеев Сергей Николаевич является крупным специалистом в области анализа действующих и перспективных радиовещательных систем. В сфере научных интересов Елисеева С.Н. также находятся вопросы параллельной трансляции информационно-мультимедийного контента и сигналов оповещения, технических средств радиовещания и антенных систем, рассматриваемые в диссертационном исследовании Варламова О.В. Его работы по тематике диссертационного исследования опубликованы в ведущих отечественных изданиях.

2. Доктор технических наук, профессор Ковалгин Юрий Алексеевич является крупным специалистом в области электроакустики, звукового и радиовещания. В сфере научных интересов Ковалгина Ю.А., в частности, находятся вопросы качества кодирования цифровых аудиоданных, системы цифрового радиовещания, использующие OFDM модуляцию, а также вопросы проведения экспериментальных исследований этих систем и обработки полученных результатов, которые являются одним из важных аспектов диссертационного исследования Варламова О.В. Его работы по тематике диссертационного исследования опубликованы в ведущих отечественных изданиях.

3. Доктор физико-математических наук, профессор Рябова Наталья Владимировна является крупным специалистом в области распространения радиоволн в ионосферных каналах связи. В сфере научных интересов Рябовой Н.В. также находятся вопросы помехоустойчивости, пропускной способности и имитационного моделирования ионосферных радиоканалов, рассматриваемые в диссертационном исследовании Варламова О.В. Ее работы по тематике диссертационного исследования опубликованы в ведущих отечественных изданиях.

4. Ведущая организация – ФГУП «Научно-исследовательский институт радио» является крупнейшим научно-техническим центром отрасли связи, осуществляющим в том числе научно-техническое обеспечение международной деятельности администрации связи РФ; подготовку научно-технических прогнозов и предложений для разработки основ государственной научно-технической политики в области радиосвязи, телевизионного и звукового вещания; разработку концепций внедрения цифровых технологий в сети звукового радиовещания; разработку проектов национальных стандартов по цифровому телерадиовещанию.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**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 передатчиками, на которых возможно повторное использование частот в

глобальной крупно-кластерной сети вещания диапазона НЧ при круглосуточной работе;

**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;

**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. 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. Разработанные технические основы подтверждены экспериментальными исследованиями и позволили определить параметры передающей сети наземного цифрового радиовещания стандарта DRM для РФ;

**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;

**разработана** методика расчета защитных отношений для сигнала ЦРВ при одновременном воздействии произвольного количества мешающих сигналов, шумов, искажений передатчика и фазовых шумов приемника;

**доказана** 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, в отличие от 16 дБ, рекомендуемых МСЭ. При этом ухудшение качества приёма аналогового сигнала будет незначительным для большинства имеющихся у населения АМ приемников;

**разработан** комплекс требований к техническим характеристикам высокоэффективных передающих устройств стандарта DRM, отличающийся учетом нелинейности АХ и ФАХ, относительной задержки составляющих и полосы пропускания тракта огибающей;

**доказано**, что требования на нелинейность передатчика, обусловленные допустимым уровнем внеполосных излучений, являются наиболее жестким критерием, и должны использоваться при проведении настройки передатчиков ЦРВ. Выполнение этих требований обеспечивает одновременно допустимую величину коэффициента ошибок модуляции (MER, Modulation Error Ratio) в выходном сигнале передатчика;

**предложен** способ расширения полосы согласования передающих вещательных антенных систем диапазонов НЧ и СЧ на основе применения частотно-расширительных цепей с потерями;

**разработаны** методика расчетов и средства инженерного проектирования частотно-расширительных цепей, которые 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.

**Теоретическая значимость исследования** обоснована тем, что:

**доказано**, что при использовании одного и того же передатчика там, где перестает декодироваться сигнал DRM в его самом помехоустойчивом режиме, понятность передачи в режиме АМ также перестает быть удовлетворительной. Зоны обслуживания в этих режимах будут равными при мощности передатчика в режиме DRM в 2,6 раза меньше и лучшем качестве аудио;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** методы статистического анализа случайных процессов, теории оптимизации, статистического моделирования, системного и схемотехнического компьютерного моделирования, эфирных экспериментов и трассовых испытаний. Исследования проводились с использованием программного обеспечения и лабораторных установок, разработанных автором;

**предложена и исследована** математическая модель радиопередатчика, построенного по методу дефазирования, в виде его статических амплитудной (АХ) и фазоамплитудной (ФАХ) характеристик, позволившая разработать требования к допустимому уровню асимметрии канальных сигналов;

**изложены** идея использования метода крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ для построения глобальных сетей цифрового радиовещания, и условия его применения;

**раскрыты и изучены** факторы, которые необходимо учитывать при частотно-территориальном планировании сетей цифрового радиовещания стандарта DRM диапазонов НЧ и СЧ;

**проведена модернизация** структуры программно-аппаратного комплекса МСЭ для исследования защитных отношений в системе DRM, заключающаяся в добавлении имитатора каналов распространения, позволившая определить отдельные величины защитных отношений для различных каналов распространения радиоволн.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что полученные результаты использованы ФГУП РТРС: при разработке системного проекта «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации»; при подготовке решения ГКРЧ № 06-13-03-001 от 24.04.2006 «О ходе реализации решения ГКРЧ от 01.12.2003 № 30/3 «Об организации опытных зон экспериментального цифрового звукового радиовещания стандарта DRM в диапазоне 3,95-26,1 МГц»; при подготовке решения ГКРЧ № 09-01-05 от 20.01.2009 «О результатах работ в опытных зонах экспериментального цифрового звукового радиовещания стандарта DRM в диапазонах 526,5-1606,5 кГц, 3,95-4,0 МГц, 5,9-6,2 МГц, 7,1-7,45 МГц, 9,4-9,9 МГц, 11,6-12,1 МГц, 13,57-13,87 МГц, 15,1-15,8 МГц, 17,78-17,9 МГц, 18,9-19,02 МГц, 21,45-21,85 МГц и 25,67-26,1 МГц»; при подготовке решения ГКРЧ № 12-14-06 от 16 марта 2012 «О результатах проведения работ в опытной зоне экспериментального цифрового звукового радиовещания стандарта DRM в полосе радиочастот 148,5-283,5 кГц»; при разработке «Правил применения систем радиовещания. Часть I. Правила применения эфирных цифровых радиовещательных передатчиков, работающих в диапазонах частот 148,5 – 283,5 кГц, 526,5 – 1606,5 кГц и 3,95 – 26,1 МГц», утвержденных приказом Мининформсвязи России № 13 от 04.02.2008г.; при подготовке Вклада Администрации связи РФ в МСЭ: ITU-R Doc. 6A/228-E. Measurements of DRM coverage area in the mediumfrequency band in the day-time, night-time and in the fading zone. Russian Federation, 2013; при подготовке Вклада Администрации связи РФ в МСЭ: ITU-R Doc. WP6A/307. Tests of single frequency DRM radio networks in the SW range. Russian Federation, 2013.

Использование результатов диссертационной работы позволило создать нормативно-правовую базу для применения в РФ сетей цифрового звукового

радиовещания стандарта DRM в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ, а также сократить количество планировавшихся к применению мощных радиопередающих устройств со 126 единиц (в соответствии с ФЦП "Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 - 2015 годы») до 50 единиц в соответствии с Системным проектом «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации».

Предложенный метод использования крупно-кластерных зон одночастотного синхронного вещания в диапазоне НЧ для построения глобальных сетей цифрового радиовещания и разработанные параметры кластера могут быть использованы при актуализации Системного проекта «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации», что позволит сократить количество планирующихся к применению мощных радиопередающих устройств до 29 единиц. При этом их суммарные мощности (1,94 МВт) и затраты на электроэнергию будут в 6 раз меньше, чем планировавшиеся в действующем Системном проекте (11,77 МВт).

Предложенный способ расширения полосы согласования передающих вещательных антенных систем диапазонов НЧ и СЧ на основе применения частотно-расширительных цепей с потерями и разработанная методика расчетов частотно-расширительных цепей позволит использовать 14 существующих антенно-мачтовых сооружений вместо строительства 8 АМС высотой 257 метров и 6 АМС высотой 375 метров, что приведет к экономическому эффекту более 1,2 млрд. рублей.

Разработанные требования на параметры приемного оборудования сетей ЦРВ стандарта DRM, включающие в себя требования к основным функциональным и радиочастотным параметрам, и методы измерений радиочастотных параметров приемного оборудования сетей ЦРВ стандарта DRM, использованы ФГУП РТРС при разработке системного проекта «Сеть государственного наземного вещания Российской Федерации» и ЗАО «МНИТИ» при разработке программ и методик испытаний опытных образцов электронного модуля для цифровых радиоприемников DRM в ОКР «Гиперзвук».

Разработанный комплекс требований к техническим характеристикам высокоэффективных передающих устройств, отличающийся учетом нелинейности АХ и ФАХ, относительной задержки составляющих и полосы пропускания тракта огибающей, использован в деятельности ПАО «РИМР» при разработке

коротковолнового высокоэффективного ключевого усилителя с отдельным усилением составляющих мощностью 1 кВт. Соблюдение комплекса требований обеспечивает одновременно выполнение норм электромагнитной совместимости и допустимую величину коэффициента ошибок модуляции в выходном сигнале передатчика. Это позволило разработать КВ усилитель мощности с высоким КПД в широком диапазоне выходных напряжений, что особенно актуально при усилении перспективных сигналов с большим пик-фактором.

Разработанные в диссертационной работе методы использованы в производственной деятельности АО «Казтелерадио» при разработке Проекта топологии сети ЦРВ стандарта DRM для Республики Казахстан в виде: эскизных проектов топологии на частотах 243 кГц и 549 кГц; методик расчета и моделирования зон покрытия; рекомендаций по дислокации радиовещательных передатчиков с использованием существующих объектов; технических предложений по мощности передающего оборудования в сети.

Разработан и внедрен в учебный процесс МТУСИ программно-аппаратный лабораторный практикум кафедры радиооборудования и схемотехники «Изучение работы радиопередатчиков, построенных по методу отдельного усиления составляющих модулированных колебаний, при передаче сложных АФМ сигналов». Полученные результаты подтверждаются соответствующими актами.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что результаты обоснованы корректным применением строгих и апробированных методов статистического анализа случайных процессов, теории оптимизации, статистического моделирования, системного и схемотехнического компьютерного моделирования и подтверждены результатами эфирных экспериментов и трассовых испытаний; **теория** построена на известных и общепринятых научных положениях и согласуется с авторскими экспериментальными результатами; **идея базируется** на анализе практики и обобщения передового опыта о существующих подходах к построению сетей цифрового радиовещания стандарта DRM; **использованы** данные МСЭ, подтвержденные и дополненные автором; **использовано** программное обеспечение и лабораторные установки, разработанные автором.

**Личный вклад соискателя состоит** в: разработке всех теоретических положений диссертации; разработке ключевых элементов экспериментальных установок; разработке программ и методик экспериментальных исследований и



эфирных измерений; непосредственном участии в проведении экспериментальных исследований и эфирных измерений; обработке и интерпретации экспериментальных данных; апробации результатов исследования на 15 всероссийских и международных конференциях; подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертация является 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 в области радиовещания, а также в области создания сетей различного назначения в диапазоне НЧ.

На заседании 18 мая 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Варламову О.В. ученую степень доктора технических наук по специальности 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 9 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени - 20, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель

диссертационного совета Д 219.001.04

Аджемов Артем Сергеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 219.001.04

Терешонок Максим Валерьевич

« 18 » мая 2017 г.

