



**Комиссия РСС по регулированию
использования радиочастотного
спектра и спутниковых орбит**

РГ РВ

Документ

РГ РВ/06/249

29 января 2016 г.

ОТЧЕТ
Рабочей группы по радиовещанию
ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВОГО ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ В ПОЛОСАХ
НИЖЕ 30 МГц

2016 г.

РЕФЕРАТ

В отчете рассмотрены различные стороны работы и возможного внедрения цифрового радиовещания, обсуждаются положительные и отрицательные качества цифровых систем и намечаются направления дальнейшей работы для решения вопроса возможной реализации цифровых систем.

Содержание

| | |
|--|----|
| Реферат..... | 2 |
| Список сокращений..... | 5 |
| 1. Введение. ДРМ и его задачи..... | 5 |
| 2. Сильные и слабые стороны ДРМ..... | 9 |
| 3. Технические характеристики системы ДРМ..... | 10 |
| Рекомендованные и реальные..... | 10 |
| 4. Комментарии по проведенным тестам..... | 17 |
| 5. Прогресс в подходе к планированию сети ДРМ. Новые статистические параметры планирования..... | 20 |
| 6. Необходимость нового подхода к планированию..... | 23 |
| 7. Технические параметры действующей методики МСЭ-R..... | 26 |
| 7.1. Определения..... | 26 |
| 7.2. Таблица действующих параметров..... | 28 |
| 8. Статистическая природа параметров планирования..... | 31 |
| 9. Статистические характеристики технических параметров канала распространения радиоволн..... | 33 |
| 9.1. Факторы, влияющие на статистический разброс подводимой мощности и на разброс коэффициентов усиления передающих антенн..... | 34 |
| 9.1.1. Подводимая мощность..... | 34 |
| 9.1.2. КПД передающих антенн (несимметричных монополей)..... | 35 |
| 9.1.3. Статистические характеристики диаграмм направленности передающих антенн..... | 35 |
| 9.2. Потери при распространении вдоль земной поверхности..... | 44 |
| 9.2.1. Статистические характеристики проводимости подстилающей поверхности, связанные с рельефом местности..... | 45 |
| 9.2.2. Характеристики проводимости подстилающей поверхности, связанные с наличием лесного покрова..... | 51 |
| 9.2.2.1. Регулярная компонента потерь в лесу при различной степени углубления в лесной массив..... | 53 |
| 9.2.2.2. Характер ежедневных изменений..... | 55 |
| 9.2.3. Статистические характеристики проводимости подстилающей поверхности, связанные с климатическими условиями, на трассах различной протяженности в широком диапазоне частот..... | 58 |
| 9.2.3.1. Сезонные изменения в различных климатических условиях..... | 59 |
| 9.2.3.2. Изменения от года к году среднемесячных значений за конкретные месяцы..... | 63 |
| 9.2.3.3. Изменения ото дня ко дню..... | 66 |
| 9.2.4. Случайные изменения уровня сигнала от места к месту..... | 68 |
| 9.2.5. Использование данных о сезонных и случайных изменениях уровня сигнала в расчетах характеристик радиотрасс..... | 69 |
| 9.2.6. Прогнозирование..... | 72 |
| 10. Статистические характеристики технических параметров канала..... | 73 |

| | |
|---|-----|
| 10.1. Защитные отношения по совмещенному каналу..... | 73 |
| 10.1.1. Аналоговая система..... | 73 |
| 10.1.2. Цифровая система..... | 75 |
| 10.2. Защитные отношения по соседнему каналу..... | 76 |
| 10.2.1. Аналоговая система..... | 76 |
| 10.2.2. Цифровая система..... | 77 |
| 10.3. Статистическая оценка характеристик мешающих сигналов..... | 77 |
| 10.3.1. Мешающие сигналы по земному каналу..... | 77 |
| 10.3.2. Мешающие сигналы по ионосферному каналу..... | 77 |
| 11. Концепция худшего месяца..... | 79 |
| 12. Таблица новых параметров планирования..... | 79 |
| 13. Состояние внедрения в мире (причины замедления)..... | 81 |
| 13.1. Почему так медленно..... | 81 |
| 13.1.1. Нет ясности с перспективой..... | 81 |
| 13.1.2. Психология сравнения..... | 82 |
| 13.1.3. Презентация..... | 83 |
| 13.1.4. Аналоговая система не стоит на месте..... | 84 |
| 13.2. Состояние внедрения..... | 86 |
| 14. Система одновременной работы в аналоговом и цифровом режимах (Simulcast)..... | 88 |
| 15. DRM вещание на коротких волнах..... | 88 |
| 15.1. Виды деятельности..... | 88 |
| 15.2. Переходная зона..... | 91 |
| 15.3. Минимальная напряженность поля..... | 95 |
| 15.4. Влияние помех от других станций..... | 96 |
| 15.5. Влияние окружающей обстановки..... | 97 |
| 16. Оценка надежности канала вещания..... | 99 |
| 16.1. Виды надежности..... | 99 |
| 16.2. Закон распределения надежности и основные статистические характеристики каналов. Модель формирования методики расчета..... | 100 |
| 16.2.1. Распределение надежности и ее характеристики..... | 100 |
| 16.2.2. Примеры расчетов и анализ распределений..... | 104 |
| 16.2.2.1. Темное время суток в летний сезон..... | 104 |
| 16.2.2.2. Светлое время суток..... | 106 |
| 16.2.3. Оценка границ зон обслуживания при цифровом вещании для заданной надежности..... | 107 |
| 17. Заключение..... | 111 |
| 17.1. Полосы НЧ и СЧ..... | 111 |
| 17.2. Полосы ВЧ..... | 111 |
| 18. Список использованных источников..... | 112 |
| 19. Приложение..... | 115 |

Список сокращений

P – мощность, подводимая к антенне.

η – КПД антенны.

$G_A(\varphi)$ – Коэффициент усиления антенны.

L – потери при распространении вдоль земли.

A – защитное отношение от помех в совмещенном канале.

$A_{ск}$ – защитное отношение от помех в соседнем канале.

$A_{сс}$ – защитное отношение от помех в синхронной сети.

$E_{п}$ – уровень помех от мешающих станций.

E_a – уровень атмосферных помех.

ρ – отношение сигнал-помеха в месте приема.

$E_{мин}$ – минимальная напряженность поля.

E – напряженность поля в месте приема.

СКО – среднеквадратичное (стандартное) отклонение.

1. Введение. ДРМ и его задачи.

Рабочий документ к Предварительному проекту нового Отчета («Соображения по осуществлению перехода к цифровому наземному звуковому и мультимедийному радиовещанию», Док. 6А/407, 2014 г. начинается такими словами:

- «В настоящее время, когда переход к цифровому телевизионному радиовещанию успешно осуществляется, уместно в очередной раз обсудить, почему у администраций наблюдается противоречивый интерес или противоречивый спрос у слушателей в отношении полного перехода к цифровому звуковому радиовещанию. Некоторые администрации решительно поддержали переход, другие придерживались осторожного подхода, а некоторые выразили малый интерес».

В нижеследующем отчете рассматриваются различные стороны работы и возможного внедрения цифрового радиовещания, обсуждаются положительные и отрицательные стороны цифровых систем и намечаются направления дальнейшей работы для решения вопроса возможной реализации цифровых систем.

В конце прошлого века в связи перегруженностью спектра и повышением уровня помех в диапазонах длинных, средних и коротких волн стало особенно заметно, что аналоговое радиовещание на частотах до 30 МГц по качеству сигнала значительно уступает УКВ-ЧМ системам или появившимся системам с цифровой модуляцией на частотах выше 30 МГц, типа «Эврика – 147/DAB». Вместе с тем мировой прогресс цифровых технологий настоятельно подсказывал искать пути использования цифровых методов передачи радиовещания, как для повышения качества принимаемых сигналов, так и для экономии частотного ресурса. Технические возможности

реализации этих идей к тому времени уже были продемонстрированы. К 2000 году были разработаны основы стандарта цифровой системы DRM, и был подготовлен проект Рекомендации в МСЭ-R, в котором содержались данные для планирования сетей радиовещания с цифровой модуляцией.

МСЭ-R в Отчете ИК6 REP-BS.2144-2009 «Planning parameters and coverage for digital DRM broadcasting at frequencies below 30 MHz» и в рабочем документе к Предварительному проекту нового Отчета (Док. 6A/407, 2014 г.) так объясняет желательность перехода на цифровое радиовещание.

«Начиная с 1930-х годов, радиовещание с АМ в диапазонах частот НЧ, СЧ и ВЧ показало значительные преимущества в отношении широкого покрытия региональным, национальным и международным звуковым радиовещанием. В последние годы оно сокращалось, поскольку высокая стоимость электричества плюс низкое качество звука по сравнению с ЧМ, сделали его менее привлекательным для радиовещательных компаний и слушателей. Но замена широковещательных передач с АМ сетями ЧМ или сетями цифрового звукового вещания нуждается в тщательном планировании и, кроме случаев, когда может быть реализовано внутриполосное решение, потребует инвестирования в разветвленную инфраструктуру. (Это может быть проблематично или непрактично для обслуживания некоторых потребностей, особенно для операций внешнего радиовещания).»

И далее

«Требования к службе для систем цифрового звукового радиовещания на частотах ниже 30 МГц и в полосе частот 30-3 000 МГц определены в Рекомендациях МСЭ-R BS.1348 и МСЭ-R BS.774, соответственно. Системы цифрового звукового радиовещания, которые удовлетворяют данным требованиям, описаны в Рекомендациях МСЭ-R BS.1514, для использования на частотах ниже 30 МГц, и МСЭ-R BS.1114, для использования на частотах 30-3 000 МГц.

Задачами, определенными в Рекомендациях МСЭ-R BS.1348 для технических и эксплуатационных характеристик и возможностей наземных систем цифрового звукового радиовещания, предназначенных для использования в диапазонах НЧ, СЧ и ВЧ, являются:

- Быть способными предоставлять высококачественный монофонический или стереофонический звук на автотранспортные, портативные и стационарные приемники;
- Обеспечивать лучшую спектральную и энергетическую эффективность, чем у обычных аналоговых систем;
- Обеспечить значительно лучшие характеристики в условиях многолучевого распространения;
- Использовать компромисс между величиной зоны покрытия и качеством обслуживания при заданной мощности излучения;
- Быть способными допускать использование всех средств доставки программ (например, монофонических, стереофонических, двойных монофонических) на общий приемник;

- Быть способными предоставлять средства для передачи данных, относящихся к программам;
- Быть способными предоставлять дополнительные услуги по передаче данных;
- Позволять изготовление недорогих приемников благодаря массовому производству.

Задачами, определенными в Рекомендациях МСЭ-R BS. 774 для технических и эксплуатационных характеристик и возможностей наземных систем цифрового звукового радиовещания, предназначенных для использования в диапазонах ОВЧ и УВЧ, являются:

- Быть способными предоставлять высококачественный стереофонический звук по двум или большему числу каналов с субъективным качеством, неотличимым от высококачественной потребительской цифровой записи (качество “CD”) на автотранспортные, портативные и стационарные приемники;
- Лучшая спектральная и энергетическая эффективность, чем у обычных аналоговых систем с ЧМ;
- Значительно улучшенные характеристики в условиях многолучевого распространения и затенения благодаря использованию разнесения по частоте и по времени, а также пространственного разнесения передатчиков, работающих в совмещенном канале, при необходимости;
- Быть способными использовать общую обработку сигналов в приемниках для любых применений наземного и спутникового радиовещания;
- Сделать возможным конфигурирование/реконфигурирование с целью передачи звуковых программ с более низкими битовыми скоростями с возможностью нахождения компромисса между качеством и количеством доступных звуковых программ;
- Иметь возможность нахождения компромисса между размером зоны покрытия при заданной мощности излучения, качеством обслуживания и количеством звуковых программ и услуг передачи данных;
- Быть способными, при наличии общего приемника, использовать все средства доставки программ, такие как:
 - местные, субнациональные и национальные наземные сетевые службы диапазона ОВЧ/УВЧ;
 - смешенное/гибридное использование наземной и национальной/ наднациональной спутниковой службы диапазона УВЧ;
 - сети кабельного распределения программ;

- Быть способными предоставлять расширенные технические средства для передачи данных, относящихся к программам (например, идентификация службы, маркирование программ, контроль доставки программ, контроль обеспечения авторских прав, условный доступ, динамическое связывание программ, службы для слабо видящих и плохо слышащих, и т.д.);
- Позволять гибко назначать службы в пределах заданного мультиплекса;
- Структура мультиплекса системы, соответствующая многоуровневой модели взаимодействия открытых систем, ISO, и позволяющая сопрягаться с оборудованием информационных технологий и сетями связи;
- Быть способными предоставлять дополнительные виды услуг с добавочной стоимостью при различных пропускных способностях передачи данных (например, каналы сообщений о трафике, коммерческие данные, пейджинговая радиосвязь, неподвижные изображения/графика, будущие интегрированные службы цифрового радиовещания (ISDB), низкоскоростное видео/мультиплекс и т.д.);
- Сделать возможным изготовление недорогих приемников и антенн благодаря массовому производству.

Выяснилось, что некоторые из цифровых систем звукового радиовещания, удовлетворяющих данным задачам, развернуты или активно исследуются в ожидании принятия решения по развертыванию. В настоящем Отчете изучаются различные факторы, влияющие на внедрение этих систем.»

Этот широкий перечень пожеланий и задач, относящийся ко всем цифровым системам, не всегда может быть реализован. Кратко говоря, он сводится к нескольким основным положениям.

1. Цифровая технология позволяет иметь больший контроль над эффективностью канала. Позволяет сжать данные в меньший объем. Позволяет организовать одночастотные сети.
2. Главное коммерческое преимущество цифрового радиовещания - способность предложить более высокое качество и многообразие услуг. Так как это может быть выполнено без потребности в дополнительном спектре и с более низкой мощностью передатчика, это является привлекательной перспективой для радиовещателя.
3. Из других преимуществ отметим возможность иметь стерео программы, дополнительные данные, автоматическое переключение между различными диапазонами, LF, MF и HF.

Выше в документе МСЭ-R отмечаются также и коммерческие трудности, связанные с необходимостью заменять мощное оборудование и покупкой населением большого числа новых приемников.

У любой радиовещательной системы есть, по крайней мере, два аспекта – технический и планировочный. До настоящего времени основные усилия были направлены на изучение работы системы, оценку необходимого отношения сигнал/помеха, минимальной напряженности поля при различных параметрах цифровой системы. По этим вопросам накоплен значительный объем экспериментальных данных, что позволяет прогнозировать работу передатчика при стабильном состоянии канала. Вторая группа вопросов, включающая зоны взаимных помех, переходные зоны с резкими пропадающими сигналами, мертвые коридоры с неприемлемым качеством или отсутствием декодирования при естественных природных изменениях состояния канала до сих пор не имеет развития, так как отсутствуют опытные сети цифровых передатчиков.

В любом случае, новая система должна удовлетворять всем изложенным выше ожиданиям, и быть более прибыльной, чем аналоговые системы.

2. Сильные и слабые стороны DRM

К отличительным положительным сторонам DRM в первую очередь относятся следующие.

1. В целом по обслуживаемой территории, где уровень сигнала выше минимального, вещание проходит без помех.

2. Высокая стабильность качества вещания на всем протяжении работы системы при заведомо достаточном уровне сигнала.

3. В полосе канала 10 кГц можно организовать два канала, или канал стереовещания.

4. Может быть организован канал передачи дополнительной информации.

5. В рабочем документе к Предварительному проекту нового Отчета (Док. 6А/407, 2014 г.) в п. 2 Дополнения 1 отмечено, что «Передача стандарта DRM30 может быть сконфигурирована таким образом, чтобы повторить зону покрытия АМ, при требовании к средней мощности на 4-6 дБ ниже по сравнению с аналоговой передачей».

Наиболее существенной слабой стороной DRM является его пороговое свойство. На границе зоны, где уровень сигнала снижается ниже порога примерно на 0,5 дБ, прием пропадает. Это при стабильных условиях. В реальных каналах в полосах ниже 30 МГц, особенно на КВ, сигнал не сохраняется постоянным, граница приема постоянно перемещается. Образуется пояс неуверенного приема, или переходная зона, где прием происходит с провалами или фрагментарно. Ширина этой полосы зависит от скорости спада напряженности поля при удалении от передатчика, статистических характеристик уровня сигнала, и определяется расстоянием, на котором уровень сигнала от вполне достаточного нисходит до практически полного отсутствия приема. Этот диапазон составляет 5-8 дБ. На земле это соответствует интервалу расстояний примерно десятки километров для зон с границей около 100 км и 100 - 200 км для зон с радиусом 500-600 км. Далее по расстоянию нет признаков приема. На всем

протяжении от начала переходной зоны и до сколь-нибудь значимого уровня за ней сигнал DRM несет только функцию помехи.

Для организаторов радиовещания важно знать, какой характер имеет передаваемая программа. Для передачи художественных и музыкальных программ ряд специалистов-акустиков отдают предпочтение аналоговой системе. Для программ новостных и информационных вполне подходит цифровой звук. Остается еще важная сторона радиовещания, это оповещение, помощи при катастрофах и других важных сообщений, как местных, так и циркулярных по стране. Для этой группы важных задач цифровая система является «зоной риска», при которой из-за порогового характера обслуживания территории сообщение в нужное время в нужном месте может быть не принято. И это не только вблизи границы полезной зоны, но и в городах и крупных населенных пунктах, где могут быть промышленные помехи.

По проблеме места системы DRM в общей системе радиовещания, или ее ниши, дискуссии еще не окончены, и радиовещателям каждой Администрации предстоит для себя сделать выбор. Но, безусловно, для многих случаев цифровое звучание будет достаточно приемлемым, и DRM может найти применение.

3. Технические характеристики системы DRM. Рекомендованные и реальные.

Рекомендованные характеристики. Технические характеристики системы DRM достаточно полно представлены в Рекомендации МСЭ-R BS.1615, где содержатся (рекомендуются) требующиеся отношения сигнал-помеха для различных видов сигнала и минимальная напряженность поля. Для ориентировки в возможных ситуациях работы системы DRM приводим таблицу режимов устойчивости (Рек. BS.1615, табл. 1), на которые ссылаются в дальнейшем следующие таблицы.

| Режим устойчивости | Режимы DRM в плане устойчивости Типичные условия распространения | Таблица 1 Предпочтительные диапазоны частот |
|---------------------------|---|--|
| A | Каналы, использующие земные волны с незначительными замираниями | НЧ, СЧ |
| B | Каналы с временной и частотной избирательностью, с бóльшим разбросом по задержке | СЧ, ВЧ |
| C | Как и режим устойчивости B, но с бóльшим разбросом по доплеровской частоте | Только ВЧ |
| D | Как и режим устойчивости B, но со значительным разбросом по задержке и доплеровской частоте | Только ВЧ |

Для типовых ситуаций минимальный уровень защитных отношений, приведенный в Рек. BS.1615, составляет в режиме 64QAM для НЧ и СЧ от примерно 15-16 дБ (для самых спокойных условий) до почти 23 дБ, и для КВ соответственно от 20 до 31 дБ. Однако практически более показательным является необходимый уровень напряженности поля, необходимый для устойчивого декодирования сигнала. Необходимый уровень сигнала приведен ниже в таблицах 2-4 (Рек. BS.1615). Из них следует, что система DRM должна начинать работать на всех режимах (16QAM и 64QAM) при напряженности поля на НЧ в зависимости от параметров сигнала и канала на обычно применяемых уровнях защиты 0 и 1 с 39-49 дБ/мкВ/м, на СЧ – с 33-43 дБ/мкВ/м, на ВЧ – с 19-30 дБ/мкВ/м. Дальнейшие детали содержатся в Рек. BS.1615.

Таблица 2

Значения минимальной используемой напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для достижения $BER = 1 \times 10^{-4}$ в режиме устойчивости А системы DRM с типами занятости спектра 0 или 2 (4,5 или 9 кГц), зависящими от схемы модуляции и уровня защиты для диапазона частот НЧ (распространение с помощью земной волны)

| Схема модуляции | № уровня защиты | Средняя скорость кодирования | Режим устойчивости/тип занятости спектра | |
|-----------------|-----------------|------------------------------|--|-------------|
| | | | А/0 (4,5 кГц) | А/2 (9 кГц) |
| 16-QAM | 0 | 0,5 | 39,3 | 39,1 |
| | 1 | 0,62 | 41,4 | 41,2 |
| 64-QAM | 0 | 0,5 | 44,8 | 44,6 |
| | 1 | 0,6 | 46,3 | 45,8 |
| | 2 | 0,71 | 48,0 | 47,6 |
| | 3 | 0,78 | 49,7 | 49,2 |

Таблица 3

Значения минимальной используемой напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для достижения $BER = 1 \times 10^{-4}$ в режиме устойчивости А системы DRM с различными типами занятости спектра, зависящими от схемы модуляции и уровня защиты для диапазона частот СЧ (распространение с помощью земной волны)

| Схема модуляции | № уровня защиты | Средняя скорость кодирования | Режим устойчивости/тип занятости спектра | |
|-----------------|-----------------|------------------------------|--|---------------------------|
| | | | А/0 (4,5 кГц), А/1 (5 кГц) | А/2 (9 кГц), А/3 (10 кГц) |
| 16-QAM | 0 | 0,5 | 33,3 | 33,1 |
| | 1 | 0,62 | 35,4 | 35,2 |
| 64-QAM | 0 | 0,5 | 38,8 | 38,6 |
| | 1 | 0,6 | 40,3 | 39,8 |
| | 2 | 0,71 | 42,0 | 41,6 |
| | 3 | 0,78 | 43,7 | 43,2 |

Диапазон значений минимальной используемой напряженности поля (дБ(мкВ/м)) для достижения $BER = 1 \times 10^{-4}$ в режиме устойчивости В с типами занятости спектра 1 или 3 (5 или 10 кГц), зависящими от уровня защиты и схемы модуляции для диапазона частот ВЧ

| Схема модуляции | № уровня защиты | Средняя скорость кодирования | Режим устойчивости/тип занятости спектра | |
|-----------------|-----------------|------------------------------|--|--------------|
| | | | В/1 (5 кГц) | В/3 (10 кГц) |
| 16-QAM | 0 | 0,5 | 19,2–22,8 | 19,1–22,5 |
| | 1 | 0,62 | 22,5–25,6 | 22,2–25,3 |
| 64-QAM | 0 | 0,5 | 25,1–28,3 | 24,6–27,8 |
| | 1 | 0,6 | 27,7–30,4 | 27,2–29,9 |

Реальные характеристики. Тестирование DRM. За 14 лет после презентации DRM проведено достаточно много тестов на средних волнах, показавших, что в реальных условиях вследствие действия многих неучтенных факторов во многих случаях для работы DRM требуется напряженность поля, отличающаяся от приведенной в таблицах.

Результаты специальных экспериментов и статистика приема на профессиональные и обычные бытовые приемники получены в ряде стран.

Основные результаты натурных испытаний таковы.

В Испании [1, 2] (2004 г. и позже) эксперименты на частоте 1359 кГц в стационарных и мобильных условиях в городской, пригородной и сельской местности проводились с профессиональным приемным комплексом, состоящим из активной приемной антенны R&S HE010, установленной на крыше автомобиля. DRM контроль осуществлялся приемным блоком, составленным из профессионального AOR7030 аналогового внешнего интерфейса, преобразователя к 12 кГц, специальной платы PC, выполняющей роль профессионального, основанного на Windows, Fraunhofer DRM демодулятора. Мощность передатчика 4 кВт. Было установлено, что прием сигналов DRM проходит хорошо при напряженности поля выше 55 дБ. В стационарных условиях в тихой сельской местности без искусственных помех, многолучевости и доплеровского рассеяния, 98% правильного приема в зависимости от формата сигнала (A/64/16/0.6/S ÷ A/16/4/0.5/S) было возможно при напряженности поля не ниже 43 – 39 дБ, что только на 2-4 дБ выше, чем приведено в Рек. МСЭ-Р BS.1615 [13, п. 6.2]. Имеется переходная зона при увеличении расстояния, в которой при одинаковой напряженности поля прием или есть, или нет. Ширина зоны 6-8 дБ. В обычных условиях при наличии бытовых помех при мобильном приеме сигнала A/64/16/0.6/S частые сбои начинаются при снижении напряженности поля до 75 - 70 дБ,

Во Франции в 2002 г. эксперименты проводились на частоте 1494 кГц в провинции (350 км от Парижа). Работа проходила в режиме Simulcast при

мощности аналогового передатчика 20 кВт, цифрового – 500 Вт. Приемники для обоих видов работы были двух типов: с высокой чувствительностью и с низкой. Цифровые приемники: последняя версия ССЕТТ/TDF (высокая чувствительность) и Thales TSW 1002D V3.08. Аналоговые приемники: Grundig YB208; Sangean ATS 818; Sony ICF 7600G. Испытания показали [3], что при напряженности поля 60 дБ цифровой сигнал принимается как на высококачественный приемник, так и на менее качественный. При напряженности поля 51 дБ и ниже на штыревую антенну сигнал не принимается. Только на рамочную. В движении прием намного хуже, чем в стационарных условиях. Последнее место приема – 38 км, уровень цифрового сигнала 45 дБ (расчет – 47 дБ). Прием возможен только на рамочную антенну на оба приемника. На штырь – только на хороший приемник. Аналоговый сигнал: прием плохой на плохой приемник, хороший – на хороший приемник. При движении и быстрой смене мест зачастую наблюдаются провалы до 20 дБ через интервалы пути порядка 100 м. Сделан вывод, что необходим более высокий уровень сигнала.

В Мексике в 2006 г. [4] проводились испытания системы DRM на частоте 1060 кГц с профессиональным приемником DT-700. Прием проводился в разных зонах, от городских, плотно застроенных, до сельских. Хороший прием (98% правильных фреймов) был возможен при напряженности поля выше примерно 80 дБ при отношении сигнал/шум более 20 дБ. Мобильный прием, так же как в Испании и во Франции, проходил гораздо хуже. Для всех типов местности качество приема (% принятых фреймов) находилось в интервале от 70 до 97,8%. При этом напряженность поля составляла 80 – 95 дБ (см. рис. 1). На шкале справа показано наличие или отсутствие приема с 98%.

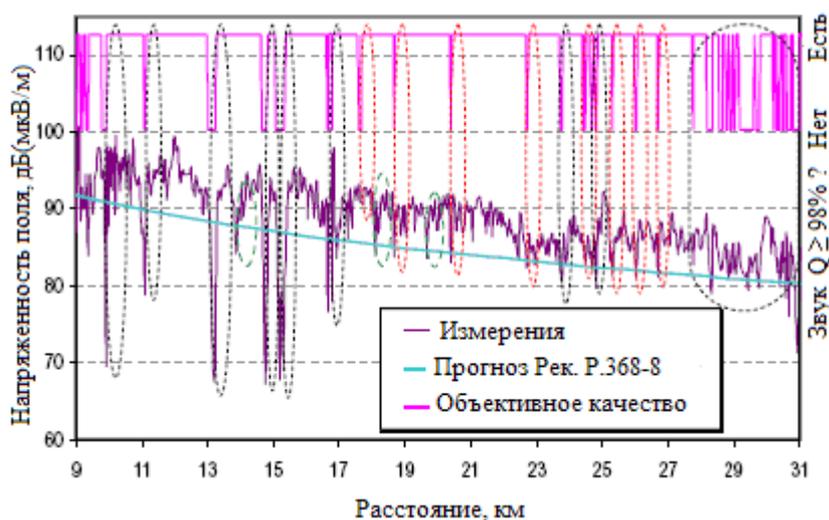


Рис. 1

В южном направлении использовался профессиональный приемник ICOM PCR 1000 RF с активной штыревой антенной. В северном – бытовой приемник Coding technologies World Traveller со штатной автомобильной антенной. На профессиональном приемнике прием был возможен в

Во Вьетнаме в 2005 г. была проведена Серия измерений Азиатско-Тихоокеанским радиовещательным союзом (ABU) [5]. Измерения сигнала DRM осуществлялись на частоте 729 кГц в двух направлениях - к югу и к северу от передатчика, установленного в Донг Хое.

стационарных пунктах на расстоянии до 120 км при напряженности поля на границе зоны 57 дБ. На северном направлении прием на бытовом приемнике продолжался только до расстояния 65 км, что практически в два раза меньше, чем на профессиональном приемнике.

В Италии в 2006 г. были проведены наиболее, на наш взгляд, показательные испытания по приему сигнала DRM [6]. Передатчик в Милане работал на частоте 693 кГц. Прием и контроль велся во многих стационарных пунктах (около 150) на активную рамочную антенну R&S HFH2-Z2. Одной из задач было исследование размера и конфигурации зоны приема при использовании профессионального (Fraunhofer DT700) и бытового (Roberts MP40) приемников. Результаты показали, что только в 38% мест измерений был возможен прием на бытовой приемник, где напряженность поля не ниже примерно 58 дБ, в то время как на профессиональный приемник прием был везде. И были выявлены области, где профессиональный приемник хорошо работает при 43 дБ, по аналогии с результатами измерений в Испании [2].

В целом различие в зонах приема на эти два типа приемников представлены на рис. 2. Из рисунка видно, что площадь зоны приема на бытовой приемник более чем в три раза меньше, чем на профессиональный. Средние радиусы зон отличаются практически в 1,5-2 раза, что похоже на результаты, полученные во Вьетнаме.

В Англии [7] в 2007-8 гг. проводились измерения цифровых сигналов на частоте 855 кГц с рамочной антенной в радиусе до 30 км от места передачи (г. Плимут). Результаты мало показательны, так как в пунктах измерений (всего 5) напряженность поля и зимой и летом была всегда высокой (60 - 85 дБ) и прием в дневное время проходил без сбоев. Приемная часть профессиональная.

В Индии [8] проводилось тестирование систем simulcast (АМ и DRM в одном канале), NVIS (вертикальное излучение) и передача в канале 18 кГц. Измерения осуществлялись на небольших расстояниях от передатчика при высокой напряженности поля (выше 72 дБ). Прием проводился на коммерческие приемники Philips RL384, Sangean ATS818 CS, Sony ICF SW100, Proxu, Grundig, Kchibo, и был почти всегда хорошим. Только в некоторых местах надежность приема находилась в пределах 88-96%.



————— Receiving area professional receiver only
 ————— Receiving area professional & commercial receivers

————— Область, где сигнал может приниматься на профессиональный приемник,
 ————— области, где сигнал может приниматься также и на коммерческие приемники.

Рис. 2

В следующей более широкой серии измерений также было подтверждено, что необходим уровень сигнала 65-80 дБ в зависимости от вида модуляции и времени суток (ночью уровень помех выше). На рис. 3-6 приведены примеры результатов, полученных в Бразилии при испытании совместной работы DRM и аналога на частоте 1200-1210 кГц [10]. Из рисунков видно, что для более устойчивого режима 16QAM достаточно отношения С/П ≈ 17 дБ, в то время как для 64QAM желательно иметь ≈ 20 дБ. Минимальная напряженность поля составляет величину более 60 дБ. В этой же публикации отмечается, что по проведенным экспертным оценкам зона покрытия с хорошим качеством вещания при DRM больше, чем при аналоге, так же, как и в Индии [8]. Прокомментировать это сложно, так как критерии оценки аналогового сигнала не сообщаются.

В России [11] [Приложение] проводились испытания системы DRM в конце лета 2012 года на протяжении примерно двух недель. Приемная аппаратура приведена в таблице 5.

Таблица 5

| Оборудование для фиксированного приема | Оборудование для мобильного приема |
|---|---|
| Профессиональный приемник Fraunhofer DRM Monitoring Receiver DT700 | Профессиональный приемник Fraunhofer DRM Monitoring Receiver DT700 |
| Ноутбук с матобеспечением (Dream, Neutrik Audio Test & Service System A1) | Ноутбук с матобеспечением (Dream, Neutrik Audio Test & Service System A1) |
| Компаратор SMV-6.5 с калиброванной антенной над землей 1,5 м. Бытовые | Компаратор SMV-6.5 с калиброванной антенной над землей 1,5 м. Бытовые приемники Himalaya, |

Вместе с тем в режиме simulcast субъективные оценки показали, что в условиях эксперимента цифровой режим обеспечивал большую зону покрытия, чем при аналоговом режиме (критерии субъективных оценок не сообщаются).

В Бразилии [9] тесты показали прием без сбоев при напряженности поля выше 65 дБ при стационарном приеме для модуляции 16QAM и выше 80 дБ для 64QAM. Использовался профессиональный приемник AOR7030.

Цифровой передатчик имел мощность 40 кВт, мощность аналогового передатчика приблизительно вдвое выше цифрового. Проводилось также сравнение цифрового приема с аналоговым. Измерения проводились в Подмосковье. Получено, что удачные сеансы приема (декодирование не менее 98% фреймов) наблюдались на профессиональном приемнике DT-700 в тихих районах при напряженности поля менее 40 дБ/мкВ/м. Были протестированы условия приема в различных типах жилой застройки, в том числе в плотной городской среде, а также в зоне ближнего фединга. Результаты измерений показали, что зона обслуживания цифровым сигналом значительно превышает зону аналогового сигнала. Критерием границы приема аналогового сигнала было отношение сигнал/шум (на выходе приемника) 26 дБ с 30% глубиной модуляции при двухполосной модуляции с полной несущей.

4. Комментарии по проведенным тестам. Сначала необходимо отметить, что для территорий, расположенных в средних широтах с континентальным климатом, где находится и наша страна, исследования, подобные зарубежным, проводились один раз в летнее время длительностью менее двух недель. Такие измерения, проводимые в различных климатических условиях и на большом временном интервале, крайне необходимы для определения места ЦРВ в общей системе вещания. С учетом зависимости уровня сигнала земной волны от природных условий, необходимы тесты, охватывающие, как минимум, период в 1 год или больше, так как год на год не приходится. В целом, можно отметить, что в ряде стран находились такие спокойные и бесшумные условия, где успешное декодирование проходило, как в лабораторных условиях, при напряженности поля, близкой к предсказанной в Рек. BS.1615, то есть около 40 дБ (тесты в Испании, Италии, России, возможно, Франции). Минимальные заявленные величины напряженности поля обеспечивают прием в относительно небольшом числе случаев. Отмечается, что такие

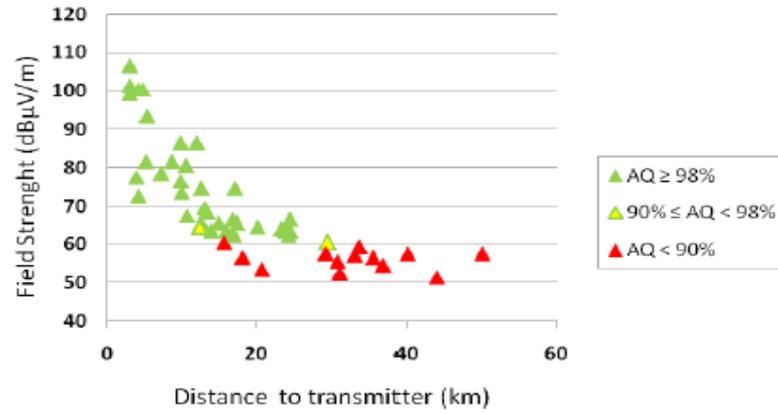


Figure 3: AQ vs. field strength and range (16 QAM day)

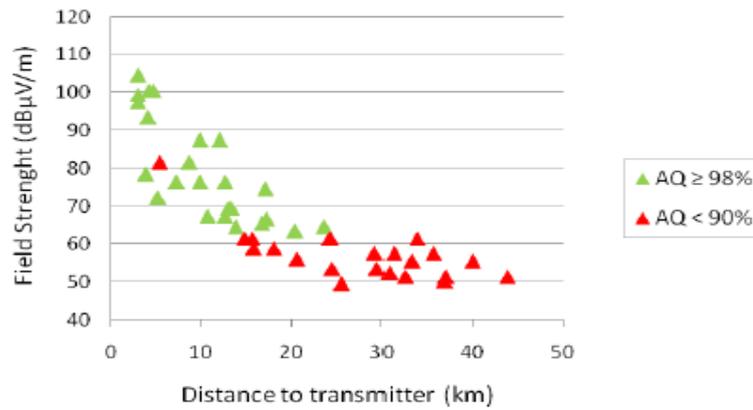


Figure 4: AQ vs. field strength and range (64 QAM day)

МЕСТНОСТИ.

FIGURE 5

Audio quality dependency on field strength and SNR (16 QAM)

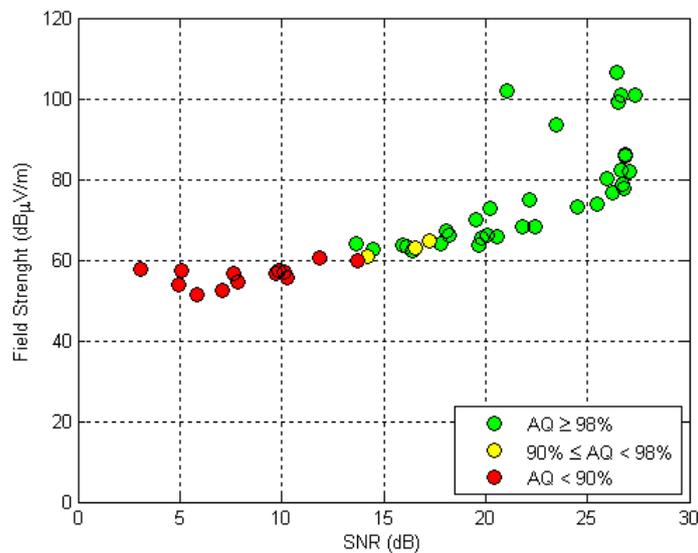
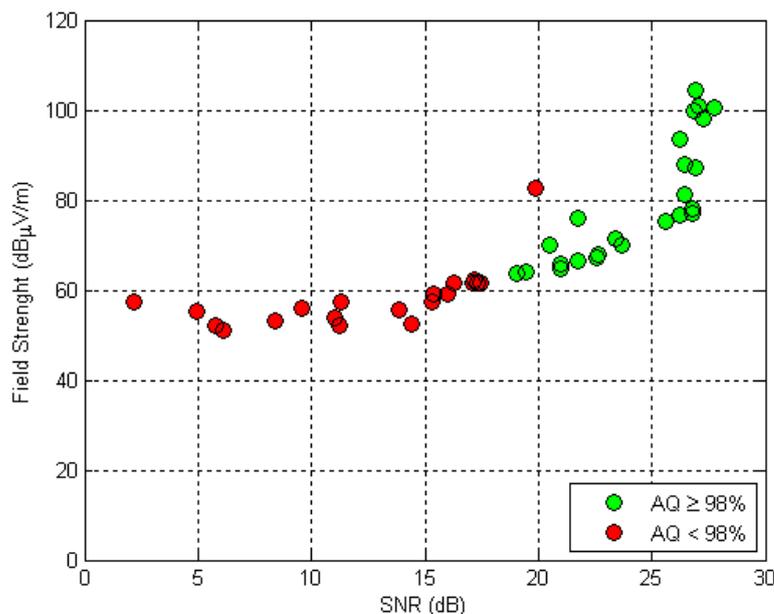


FIGURE 6

Audio quality dependency on field strength and SNR (64 QAM)



В других странах для нормальной работы требуется напряженность поля намного более высокая, так как в реальных ситуациях в большом числе случаев условия работы канала и обеспечиваемые им параметры далеки от идеальных. Полученные результаты по всем тестам представлены в таблице 6.

Минимальная напряженность поля, дБ, достаточная для приема сигнала DRM.

Таблица 6

| Вид приема Место приема | Идеальные условия, профессион. приемник | Стационарный прием, профессион. приемник | Прием в движении, профессион. приемник | Стационарный прием, бытовой приемник | Прием в движении, бытовой приемник |
|----------------------------|--|--|--|--|--|
| 13.Испания | 39-45 | 55 | | (≈ 65) | (≈ 80) |
| 14.Франция | 45 на рамку* На штырь идет только на лучший приемник | 51 только на рамку | (≈70)** | | |
| 15.Мексика | | 80 | 80 + (≈ 15) | (≈ 95) | (≈ 110) |
| 16.Вьетнам | | 57 | | (≈67) Оценка | |
| 17.Италия | 43 | | | ≥ 58 | (≥ 73) |
| 18.Англия | ≥ 60*** на рамку | | | | |
| 19.Индия | | | | ≥ 72*** | |
| 20.Бразилия | | 65 - 80 | | Предполож. ≈(75-90) | |
| 21.Россия | <40 | | | 57 (мало данных) | |

* На штыревую антенну прием идет не на каждый проф. приемник.

** Сообщается, что при движении провалы часто достигают 20 дБ.

*** При меньшем уровне сигнала данные не приведены (или измерения не проводились).

В таблице в скобках проставлены величины, полученные путем добавления разницы между мин. уровнем сигнала проф. приемника и бытового – 10 дБ, и между стационарным приемом и мобильным – 15 дБ, что следует из опытных данных.

Из приведенной таблицы можно видеть, что в большинстве случаев бытовое окружение вносит дополнительные осложнения в условия приема, что приводит к повышению необходимой напряженности поля. Уместно отметить, что имеющиеся в продаже бытовые цифровые приемники от разных фирм, как и среди аналогового парка приемников, обладают весьма различными характеристиками, и с этим приходится считаться. Имеется и разброс по чувствительности, так что «средний» бытовой приемник неизбежно будет значительно отличаться в худшую сторону от тех профессиональных приемников, которые использовались при описанных выше тестах.

Относительно сравнения зон обслуживания можно отметить, что в рассмотренных документах не всегда приводятся данные, необходимые для таких оценок. В описании тестов не сообщаются критерии субъективной оценки границы полезной зоны аналогового сигнала, или не сообщается способ оценки отношения сигнал/шум по высокой частоте в месте приема аналогового сигнала. Поэтому даже приблизительная оценка величины превышения цифровой зоны над аналоговой требует дополнительных данных.

Важно также отметить, что результаты тестов, полученные на профессиональных приемниках, ни в коей мере не отражают картину приема в реальных бытовых условиях, что можно видеть уже из таблицы 6.

Но, пожалуй, наиболее трудной проблемой является формулировка общего критерия сопоставления размеров полезных зон при цифровом и аналоговом вещании. Сравнить две разнородные системы с различными свойствами, живущие по своим законам, в принципе невозможно.

При расчете зоны вещания от АМ передатчика на ее границе медианное значение напряженности поля превышает напряженность поля помех на величину защитного отношения. То, что в данном случае расчет ведется для медианной величины напряженности поля полезного сигнала не является сколь-нибудь существенным обстоятельством, так как при случайных изменениях уровня сигнала и, следовательно, отношения сигнал-помеха, изменяется только качество приема программы. Практически, при случайных снижениях полезного сигнала это не бывает столь значительным, чтобы прием программы стал невозможен, обычно ухудшение качества не превосходит 1 балла по 5-балльной шкале (что соответствует снижению уровня сигнала на 10-11 дБ), и слушатель воспринимает эти явления как некоторое временное снижение комфортности при прослушивании передачи.

Совершенно иное дело при приеме передач с цифровой модуляцией. Для этой системы определение границы зоны обслуживания исходит из совершенно другого физического понятия, а именно, на границе должно декодироваться 98% передаваемых фреймов. Эти два подхода не

эквивалентны. Более того. Подход к сравнению зон покрытия зависит от задачи, решаемой радиовещанием. В частности, если необходимо создать на приеме высокое качество, то есть зона ограничивается достаточно высокой напряженностью поля, то при таких требованиях преимущество по дальности действия может быть на стороне цифровой системы, Если предъявляется требование в чрезвычайной ситуации обеспечить наибольшую дальность действия, не считаясь с потерей качества, то, скорее всего, преимущество будет на стороне аналоговой системы. В любом случае эти предположения требуют тщательного анализа. Все эти неоднозначности говорят о том, что работа цифровой системы с пороговым эффектом должна анализироваться исключительно в вероятностных категориях.

5. Прогресс в подходе к планированию сети DRM. Новые статистические параметры планирования.

Для планирования, как показал почти столетний опыт работы с аналоговыми сетями, в первую очередь необходимо опираться на минимальную напряженность поля. Она определяет границу полезной зоны. Для аналоговой системы это медианная величина. Для цифровой системы медианной величины недостаточно, так как при таком подходе цифровые передачи будут приниматься только в половине времени работы. Необходимо знать статистические параметры сигнала.

Так как радиовещание проектируется на годы, то статистические параметра должны отражать годовую и внутригодовую статистическую картину поведения сигнала. Такая статистика к настоящему времени имеется, но не для всех регионов мира. Для средних широт, европейской и сибирской части России, сезонные изменения и статистические изменения сигнала ото дня ко дню и от места к месту в определенной мере отражены в Рекомендациях МСЭ-R P.368-9 и P.1321-3. Для цифрового радиовещания принята достаточно жесткая величина необходимой надежности (доля правильно декодированных фреймов) 98%. Для его выполнения требуется учет всех видов случайных отклонений. А для планирования на многолетний период дополнительно необходимо знание СКО от года к году.

Взгляд на планирование и на изменение Плана Женева-75.

Организация радиовещания в СВ/ДВ-диапазонах -- это прежде всего планирование. И не только планирование передающей сети, но и планирование работы: в такое-то время – новости, в такое-то – спорт и т.д. Если работа по расписанию не обеспечивается, то это не может называться вещанием.

Для планирования важен целый ряд параметров, главные из которых -- защитные отношения и минимальная (или достаточная) напряженность поля. При вещании на коротких волнах в системе DRM не менее важна и возможность адаптации слушателей к прерывистой передаче в условиях недостаточного уровня сигнала или в сложной ионосферной обстановке.

Пропущено уже два срока пересмотра созданного в 1975 г. Плана радиовещания на длинных и средних волнах для регионов 1 и 3 (Женева-75).

Появление цифровой системы еще более осложнило положение. Реальное положение дел подробно изучалось в Частотной рабочей группе Комитета по электронной связи (ЕСС) в рамках Европейской конференции администраций почт и электросвязи (СЕРТ). Приведем и кратко прокомментируем несколько фрагментов из двух документов, выпущенных этой группой по вопросам введения и планирования DRM-сетей [12, 13]. В документах поставлен ряд вопросов, некоторые из которых вселяют надежду, а другие вызывают тревогу. Документы подготовлены в 2007 г., но принципиальных изменений с тех пор не произошло. Вначале о документе «Управление переходом на цифровое звуковое радиовещание в ДВ/СВ-диапазонах» [12].

1. *«Основопологающей величиной для построения Планов радиовещания в НЧ-, СЧ-, УВЧ- и ОВЧ-диапазонах является напряженность поля».*

2. *«В первом приближении для DRM-передачи требуется такая же мощность, что и для боковых полос АМ-сигнала. Поэтому из-за отсутствия несущей возникает значительная экономия по мощности».*

3. *«Прежде, чем будет проведен любой пересмотр Плана для внедрения цифрового вещания, необходимо тщательно изучить условия распространения сигнала, различающиеся в светлое и темное время суток. Это нужно для оценки неблагоприятного воздействия на качество приема цифрового сигнала в тех областях, где радиосигнал распространяется одновременно и земной, и пространственной волной. Для АМ-вещания этот эффект проявляется в виде замираний, которые образуются в зоне, где земная и пространственная волны накладываются друг на друга и уровень сигнала непрерывно изменяется от очень низкого до более высокого (квакающего звука), хотя содержание радиопрограммы остается понятным. Для DRM-вещания эффект проявляется в резко выраженном исчезновении слышимости, когда проходящий сигнал изменяется от хорошего, до почти полностью исчезающего, что хуже, чем в АМ-вещании».*

4. *«Пространственная волна, имеющая место в темное время суток, в сочетании с высокой мощностью радиовещательных станций дает возможность охватывать вещанием огромные территории. Именно это обстоятельство превратило бы повторный созыв любой Конференции для пересмотра Плана GE75 в монументальную задачу, сопоставимую по масштабу с RRC06, но с диапазонами координации и числом стран, от которых потребуются одобрение увеличения числа передатчиков большой мощности, в десять или большее количество раз. Это было бы очень трудоемким и дорогостоящим мероприятием...».*

5. *«Перепланирование сетей в ДВ/СВ-диапазонах на предстоящей конференции потребовало бы дополнительного времени и дополнительных ресурсов. Кроме того, у радиовещателей есть сомнения в благоприятном разрешении этого вопроса, и все вместе вызывает нежелание подвергаться такому риску. Проектирование и строительство в ДВ/СВ-передающих*

станций требуют больших финансовых вложений и проведения более серьезных мероприятий в решении вопросов здравоохранения и безопасности для населения, чем для радиостанции ЧМ ОБЧ».

Теперь обратимся к документу «Возможные технические и регулирующие мероприятия для облегчения внедрения DRM излучения в радиовещательных ДВ/СВ-диапазонах в Регионах 1 и 3» [13].

6. «В Rec. ITU-R BS.1615 "Параметры планирования" приводятся основные данные для определения всех параметров планирования для цифрового звукового (DRM) радиовещания, работающего на частотах ниже 30 МГц. ...Определение параметров ...частично базируется на теории и нуждается в проверке на практике в рамках Плана GE 75.

...Поэтому примерно за два-пять лет до ожидаемого значительного увеличения количества DRM-передатчиков необходимо будет провести практические измерения, чтобы подтвердить возможность совмещения...».

7. «...Охват для DRM:

* Как изменится защищенный охват, если частотное назначение (присвоение) будет заменено на DRM?

* Как защищенный охват определен в плане, когда одновременно присутствуют и DRM и АМ частотные назначения и их развитие?

* Как защищенный охват мог бы измениться, чтобы отразить 'законные' изменения в плане и как должны быть истолкованы любые последующие увеличения или потери в охвате?

Такой пересмотр заключительных актов Региональной конференции по радиовещанию 1975 г. (GE75) может быть согласован только через созыв очередной Региональной конференции. Хотя требуемые изменения существенны, они не должны затронуть частотные назначения в Плане. Поэтому эти изменения, вероятно, можно согласовать на специальной Региональной конференции, нацеленной только на пересмотр технических параметров и связанных с ними процедур. Однако до проведения такой конференции необходим период в несколько лет, чтобы накопить информацию для оценки качества DRM-передач на потребительских приемниках. Эта информация требуется, чтобы подтвердить или улучшить параметры планирования, содержащиеся в Рекомендациях МСЭ».

8. «Имея в виду все вышеописанное, вывод об отсутствии необходимости в замене частотного Плана GE75 планируемой конференцией в настоящее время или в обозримом будущем представляется разумным и прагматичным, и этот вопрос, как уже отмечалось, должен быть повторно поднят позже и с большим пониманием такого требования».

Сделаем несколько небольших пояснений. В п. 1 подчеркивается ключевая роль напряженности поля, поскольку именно она определяет необходимую мощность передатчика и стоимость его работы. При этом отношение сигнал/помеха является лишь важным технологическим параметром. Использовать его в качестве основного фактора планирования затруднительно, так как более важную роль играет реальная слабая предсказуемость суммарного уровня помех и шумов. Из п. 2 следует, что

если использовать аналоговую систему без несущей с одной боковой полосой (ОБП), как предполагалось в МСЭ несколько ранее, то аналог и цифра энергетически становятся практически равными. В п. 7 специально отмечено, что говорить о параметрах планирования следует после апробации системы на потребительских приемниках. Но тестирование работы DRM в большинстве случаев проводится на профессиональных приемниках и почти всегда в открытой местности, особенно при оценке величины максимальной дальности приема, что не дает правильной картины приема вещания в бытовых условиях.

В целом же и без комментариев понятно, что, учитывая все рассмотренное, СЕРТ не видит возможности в обозримом будущем составить в мировом масштабе работоспособный план работы цифровой сети. Тем не менее, программа внедрения DRM, хотя и представляется весьма трудной, с повестки дня не снимается. Это лишь подчеркивает необходимость более подробной проработки статистических аспектов работы цифровых систем.

6. Необходимость нового подхода к планированию.

За последние годы наиболее важным продвижением в развитии методов анализа и расчета систем радиовещания можно считать применение вероятностного подхода и переход на концепцию надежности.

В восьмидесятые годы для диапазона коротких волн по инициативе Администрации связи СССР и при ее активном участии в разработке технических вопросов в МСЭ-R была принята концепция надежности вещания и введен новый параметр - надежность радиовещания. Новые понятия стали основными в работе Технического комитета на ВАКР ВЧ РВ 1984, -87 гг. Это оказалось возможным и целесообразным в силу того, что основные параметры – уровень полезного и уровень мешающего сигналов имеют принципиально статистический характер. Другие параметры, в частности, защитные отношения, для диапазона коротких волн были приняты детерминированными значениями, но зависящими от требуемого качества приема. Но это не относится к радиовещанию на длинных и средних волнах, где до сих пор в методиках расчета зон вещания, используются вполне определенные значения каждого из параметров. С появлением системы цифрового радиовещания (DRM) добавилось только требование ограничения мощности на 7 дБ при замене аналогового передатчика на цифровой (Рез. 503 ВРК-03) и новые значения защитных отношений и минимальных значений напряженности поля (Рек. BS.1615 МСЭ-R). Детерминированный характер параметров сохранился. Но именно расчеты цифровых систем потребовали активного и глубокого развития вероятностных оценок их характеристик.

При развитии нового подхода и его внедрении действует ряд ограничений, связанных с существованием утвержденных методик расчета на международном уровне. Так как ныне действующая методика расчета линий радиовещания при обслуживании земной волной базируется только на детерминированных величинах параметров, то отсутствует возможность оценки процента времени превышения порога качества передачи, или процента мест приема с той или иной величиной напряженности поля или

отношения сигнал/помеха. При детерминированном подходе границы зоны обслуживания, в частности, для аналоговых систем, соответствуют приблизительно медианному значению. Нет оснований для вероятностной оценки размеров зоны или отношения сигнал/помеха на ее границе.

Ответы на подобные вопросы могут быть получены только при разработке статистического подхода к расчетам, и это непосредственно приводит к оценке надежности вещания.

В ДСВ диапазоне до настоящего времени работы по внедрению вероятностного подхода не проводились, что сдерживалось, по всей видимости, наличием плана и кажущейся стабильностью и удовлетворительностью работы сети. В этом диапазоне методика МСЭ-R для расчета линий на НЧ и СЧ не предусматривает также оценки надежности вещания.

Но после первоначального развития теории распространения радиоволн и практики радиовещания, когда предполагалось, что поле земной волны ДСВ диапазона, в отличие от поля ионосферной волны, есть величина вполне детерминированная, постепенно пришло понимание того, что благодаря огромному разнообразию параметров, влияющих на диаграмму направленности передающих антенн и на величину затухания сигнала при распространении земной волны на трассе, мощность сигнала в точке приема является величиной, подверженной статистическому разбросу.

Требования к параметрам планирования отличаются от требований к параметрам, применяемым при расчетах конкретных трасс.

Для расчетов трасс в конкретных условиях необходимы данные о параметрах участвующих в расчетах полезном сигнале и сигналах помех. В частности, необходимо знать величины полос звуковых частот и степень сжатия динамического диапазона для обоих видов сигналов, если, например, помеха действует по соседнему каналу.

Реальные напряженности полей, как показано ниже, обладают статистическими распределениями уровней и дисперсией, которые являются основой для расчета надежности, и детерминированные расчетные значения должны быть дополнены случайной компонентой. В частности, новым параметром, не фигурировавшим нигде ранее в ДСВ вещании, но многие годы используемым в методике расчета радиолиний в УКВ диапазоне, является местностное распределение напряженности поля.

Анализ взаимного влияния передатчиков производится при учете защитных отношений. Ранее это были зафиксированные величины, что не позволяло при аналоговой системе вещания использовать процедуру согласования со взаимными уступками, если размеры зон обслуживания при начальных условиях не устраивают заинтересованные администрации. Для этого необходимо иметь широкую шкалу для величины защитного отношения, связанную со шкалой экспертных оценок качества сигнала в баллах, а также иметь вероятностные оценки параметра для удовлетворенности заданного процента экспертов. Это относится как к совмещенному каналу, так и к помехам по соседним каналам. При цифровой

системе взаимные уступки как при аналоге с сохранением той же зоны, но с пониженным качеством, невозможны. Для этого необходимо ухудшать параметры передачи, что ухудшит качество сигнала на всей зоне обслуживания.

Все сказанное относится в основном к вещанию в любое время суток. Но кроме этого, в дневные часы, когда помехи от других станций по ионосферному каналу отсутствуют, на первый план выходят атмосферные шумы, которые определяют величину минимальной напряженности поля. Зафиксированная ранее в Плане 1975г. GE75 эта величина как постоянная, не отражает реальной картины. Так же как и для защитных отношений, эта величина должна иметь широкую шкалу выбора возможных значений минимальной напряженности поля с отвечающей ей шкалой качества вещания.

Все параметры планирования могут быть поделены на две части.

Параметры, связанные с природой или физикой явлений, принимаемые однажды и неизменяемые при широких вариациях взаимодействия с другими соседними передатчиками. К таким относятся проводимость почвы, минимальная напряженность поля и статистические характеристики распределений уровней полезных и мешающих сигналов.

Ко второй группе параметров относятся те, которые могут быть изменены в широких пределах при согласовании между администрациями. Это защитные отношения по совмещенному и соседним каналам, для синхронных радиостанций, а также мощности передатчиков, которые играют существенную роль при согласовании условий работы взаимомешающих радиостанций.

Необходимость введения изменений в величины параметров и перехода на статистическое описание диктуется также и другими важными обстоятельствами.

Большое число синхронных ДСВ сетей охватывало несколько республик бывшего СССР. В настоящее время эти сети оказались разделенными, и возникла проблема снижения взаимных помех от образовавшихся новых сетей. Использование жестких и стабильных норм, принятых на Конференции в 1975 г. в Женеве, приводит к такому резкому сокращению размеров зон обслуживания, что ни одна Администрация не может быть удовлетворенной. Однако, действительная картина покрытия территорий остается при этом неизвестной, и ответ на этот вопрос могут дать новые параметры планирования, лучше отражающие реальное состояние дел.

За пределами границ зон обслуживания качество вещания при аналоговой системе не падает резко вниз. Степень его снижения определяется многими причинами и может характеризоваться надежностью вещания при заданном качестве. Этот универсальный показатель может быть использован для любых сетей вещания, включая цифровые, и в итоге позволяет характеризовать надежность вещания в целом на территории с учетом всех диапазонов волн.

Таким образом, новые параметры планирования или их новые характеристики служат двум основным целям:

— облегчить процесс планирования сети вещания, и получить результаты более близкими к реальным,

— создать базу для замены идеологии детерминированного расчета сетей на концепцию надежности радиовещания. Оба эти направления позволяют дать максимально полную картину работы сети или отдельных радиостанций, отражающую реально существующее положение.

Блок новых технических параметров планирования, удовлетворяющий этим задачам, должен иметь примерно следующий состав.

1. Статистические характеристики распределения величины напряженности поля земного сигнала, куда как составляющие входят характеристики излучающих систем и потери в процессе распространения.

2. Статистические характеристики распределения величины напряженности поля ионосферного сигнала, куда как составляющие входят характеристики излучающих систем и потери в процессе распространения в ионосфере.

3. Величина минимальной напряженности поля и ее статистические характеристики.

4. Шкала величин защитных отношений по совмещенному каналу и соответствующая ей шкала оценок качества сигнала.

5. Шкала величин защитных отношений по соседнему каналу и величина стандартного отклонения.

6. Шкала величин защитных отношений для синхронно работающих передатчиков и величина стандартного отклонения.

Не все параметры имеют исчерпывающие характеристики. Но, несмотря на это, предлагаемый к рассмотрению новый блок параметров намного шире и содержательнее ныне используемого для планирования сетей. Для сравнения ниже приводится список и характеристика действующих параметров.

7. Технические параметры действующей методики МСЭ-R.

7.1. Определения.

Ниже даются определения параметров, использующихся только в расчетах по методике МСЭ-R. Эти параметры будем считать базовыми, с которыми, как с замкнутым блоком, будут сравниваться новые дополнительные параметры и новый блок в целом.

Номинальная мощность передатчика P (в дБ относительно 1 кВт)- мощность передатчика, подаваемая в фидер антенн без учета потерь в фидере.

Эффективная излучаемая мощность P – произведение номинальной мощности передатчика на коэффициент усиления антенны, дБ.

Коэффициент усиления антенны G (дБ)-отношение мощности, которую необходимо подвести ко входу короткой вертикальной антенны без потерь при идеальной проводимости почвы для получения эталонной монополюсной излучаемой мощности (ЭМИМ) 0 дБ (1 кВт) в горизонтальном направлении, к мощности, подводимой к реальной антенне, для получения того же значения эталонной ЭМИМ. В случае направленной антенны, коэффициент усиления определяется в необходимом количестве направлений.

Защитное отношение по высокой частоте A (в дБ) - отношение напряженности электромагнитного поля полезного сигнала к напряженности поля мешающего сигнала в месте приема, при котором на выходе приемника обеспечивается защитное отношение по низкой частоте, считающееся приемлемым для субъективно определяемого качества приема.

Минимальная используемая напряженность поля $E_{мин}$ (в дБ относительно 1 мкВ/м) - минимальная напряженность электромагнитного поля полезного сигнала в месте приема, которая обеспечивает отношение сигнал/шум на выходе приемника, считающееся приемлемым для субъективно определяемого качества приема при наличии атмосферных, промышленных, галактических шумов и шумов приемника без учета помех от других передатчиков вещательной сети.

Номинальная используемая напряженность поля $E_{ном}$ (в дБ относительно 1 мкВ/м) - принятая в качестве эталона при планировании минимальная напряженность поля, необходимая для обеспечения удовлетворительного приема при наличии всех видов шумов с учетом помех от других передатчиков сети.

Используемая напряженность поля $E_{исп}$ (в дБ относительно 1 мкВ/м) - минимальная величина напряженности поля, необходимая для обеспечения требуемого качества приема при наличии всех видов шумов и помех в существующей ситуации, определенной частотными планами.

Зона уверенного приема радиовещательного передатчика – зона, в пределах которой напряженность поля передатчика равна или выше $E_{исп}$.

Синхронная сеть – группа передатчиков, работающих на одинаковых несущих частотах и передающих одинаковую радиовещательную программу.

Антенные устройства.

В НЧ, СЧ диапазоне используются антенны следующих видов:

ненаправленные антенны:

АМС- антенно-мачтовая система;

АРРД- антифединговая;

направленные антенны, характеристики которых указаны в Плане “Женева-75”.

7.2. Таблица действующих параметров.

Для удобства анализа и сравнения существующих и предлагаемых параметров удобно представить как те, так и другие, в табличной форме.

В таблице 1 для действующих параметров приводятся буквенные обозначения параметров, пояснения их содержания и численные характеристики.

Таблица 1

| N | Наименование параметра | Условные обозначения | Единица измерения параметра | Определение параметра | Величина параметра |
|---|---|----------------------|-----------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Мощность передатчика | P | кВт или дБ | Мощность несущей в отсутствие модуляции | Задается при планировании как постоянная величина |
| 2 | Усиление антенны | G | дБ | Усиление по отношению к короткому несимметричному вибратору на земле с идеальной проводимостью ¹⁾ . | Задается при планировании как постоянная величина |
| 3 | Излучаемая мощность | P _{изл} | дБ | За излучаемую мощность принимается произведение номинальной мощности передатчика и коэффициента усиления антенны (относительно короткой вертикальной антенны) без учета потерь. Она выражается либо волнодвижущей силой (в вольтах или децибелах относительно 300 В), либо эффективной монополярной излучаемой мощностью (ЭМИМ в кВт или децибелах относительно 1кВт). | Постоянная величина, равная сумме в децибелах мощности передатчика и усиления антенны. |
| 4 | Защитные отношения | A | дБ | Величина отношения полезного сигнала к мешающему по высокой частоте, которая обеспечивает при определенных условиях на выходе приемника защитное отношение по низкой частоте. ²⁾ | Для данных вида работы и характеристики модуляции величина постоянная |
| 5 | Минимальная величина напряженности поля (минимальная используемая напряженность поля) | E _{мин} | дБ | Минимальная величина напряженности поля, необходимая для превышения природных шумов (с учетом защитных отношений) на частоте 1 МГц. | 60 для зоны А ³⁾ |
| 6 | Номинальная используемая напряженность поля | E _{ном} | дБ | Полагается, что ниже этой величины с учетом разного рода помех напряженность поля в зоне обслуживания не должна быть | В зоне А: 1 - СВ Земная волна в дневное время - 63, в ночное время для сельской местн. -71, в городе - 77. Маломощные каналы -88 2 - ДВ Для всех условий - 77 |
| 7 | Используемая напряженность поля | E _и | дБ | Необходимая напряженность поля с учетом работы мешающих передатчиков | Рассчитывается по формуле ⁴⁾ . |
| 8 | Проводимость почвы | σ | мС/м | - | 3 – почти для всей территории бывшего СССР за небольшим |

¹⁾ - Для земной волны учитывается в соответствии с высотой антенны в длинах волн по рис.7. Для ионосферной волны учитывается также ослабление в вертикальной плоскости в соответствии с рис.8. Для направленных антенн учитывается усиление (или ослабление) в горизонтальной плоскости; данные об этом задаются при регистрации заявки.

²⁾ - Для расчетов напряженности поля и зон обслуживания в соответствии с Документом 140 МККР используются следующие технические параметры:

-разнос между несущими частотами 9 кГц;

-ширина полосы по высокой частоте 20 кГц;

-защитное отношение в совмещенном канале:

A=30 дБ для стабильного полезного сигнала и стабильного или флуктуирующего мешающего сигнала;

A=8 дБ для полезного сигнала, подверженного помехам от передатчика, работающего в той же синхронной сети;

-защитные отношения по соседнему каналу для стабильного полезного сигнала.

Случай А.

A=9 дБ, когда на вход передатчика подается модулирующий сигнал с ограниченной компрессией при ширине полосы модулирующего сигнала по низкой частоте 10 кГц.

Случай В.

A=7 дБ, когда обеспечивается сильная компрессия, ширина полосы модулирующего сигнала по низкой частоте 10 кГц.

Случай С.

A=5 дБ, когда используется ограниченная степень компрессии модулирующего сигнала при ширине полосы по низкой частоте 4,5 кГц.

Случай D.

A=0 дБ при сильной компрессии модулирующего сигнала и ширине полосы 4,5 кГц.

Если станции работают в соседних каналах с разной шириной полосы или различной компрессией, то используется наибольшая величина из двух соответствующих защитных отношений.

Для стран Европы, Азии и Северной Африки принято значение минимальной напряженности поля равное 60 дБ для 1 МГц, которое необходимо для превышения атмосферных помех.

³⁾ - Зона А включает в себя Европу, Африку и всю территорию бывш. СССР. При отсутствии данных о промышленных шумах величина $E_{\text{мин}}$ на частотах, отличных от 1 МГц, может быть определена по поправочной кривой в Актах GE75.

⁴⁾ - $E_{\text{и}} = \sqrt{\sum_i (a_i E_{\text{пи}})^2 + E_{\text{мин}}^2}$, мкВ/м,

где

$E_{\text{пи}}$ - напряженность поля i -го мешающего передатчика (в мкВ/м),

$E_{\text{мин}}$ - минимальная напряженность поля на рабочей частоте (в мкВ/м),

a_i - защитное отношение по высокой частоте в раз, связанное с i -м передатчиком.

Как видно из таблицы, все параметры задаются или выбираются как постоянные величины, не имеющие допусков на случайные отклонения. Поэтому оценить вероятностные характеристики линий вещания или зон покрытия радиовещанием при таком представлении параметров не представляется возможным.

8. Статистическая природа параметров планирования.

Все вышеназванные параметры планирования подвержены значительному статистическому разбросу. Для полной характеристики таких параметров требуется знать не только его среднее значение, но

также характер распределения и его среднеквадратичное отклонение $\sigma(X)$. Необходимо отметить, что хотя сами параметры планирования имеют статистическую природу, связь между ними имеет вполне определенный детерминированный характер. Так, поле земной волны $E_{зем}$ является функцией расстояния D при заданной частоте f и заданном значении проводимости подстилающей поверхности $\sigma_{пр}$. Эта функциональная зависимость представлена в виде известных кривых Рек. Р.368-10.

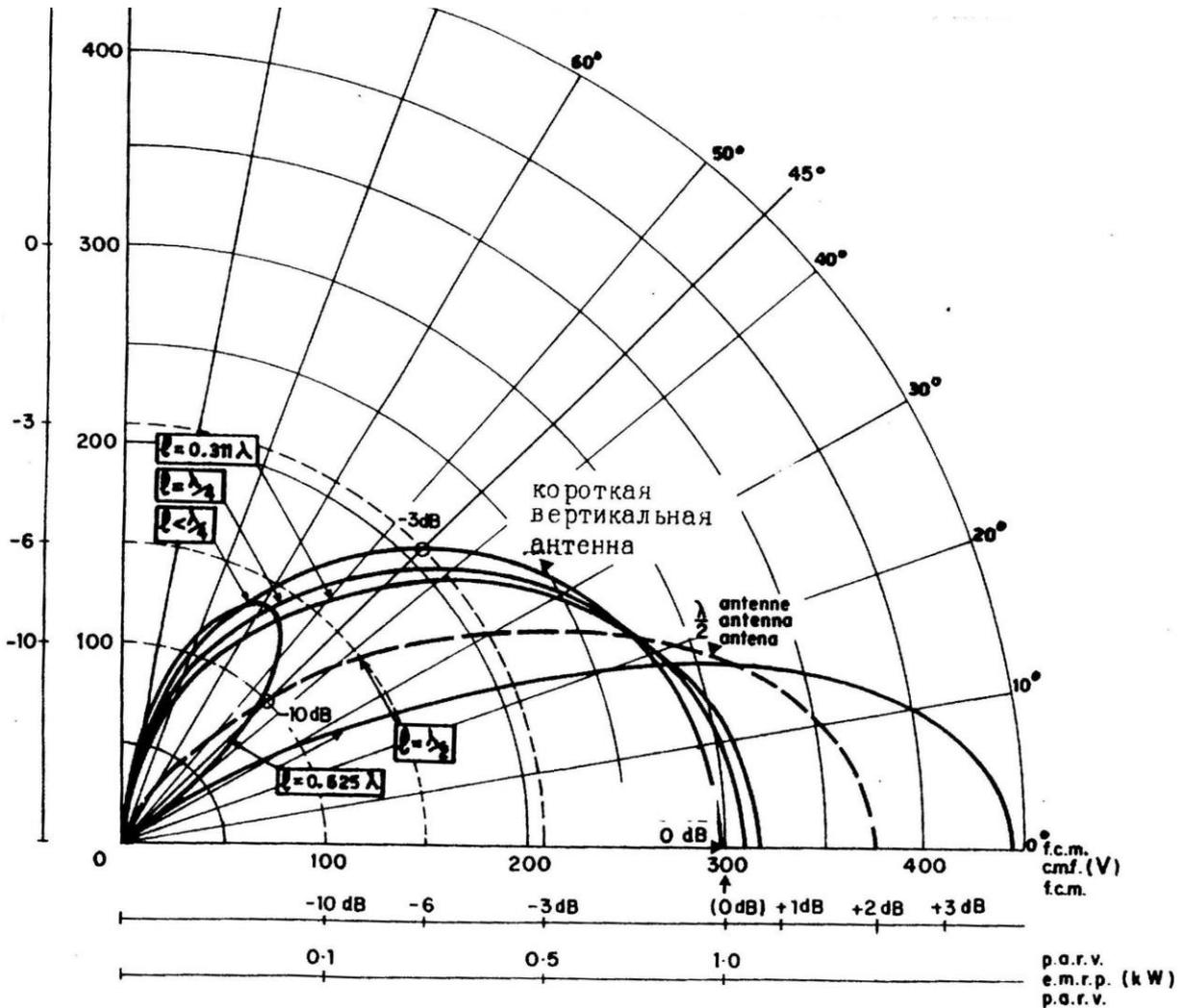


Рис. 7

Существование функциональной связи приводит к тому, что статистические характеристики $E_{зем}$ и $\sigma_{пр}$ не являются независимыми. Кроме того, величина напряженности поля подвержена влиянию ряда других случайных факторов, изменений излучаемой мощности по различным направлениям, местных условий и т.д.

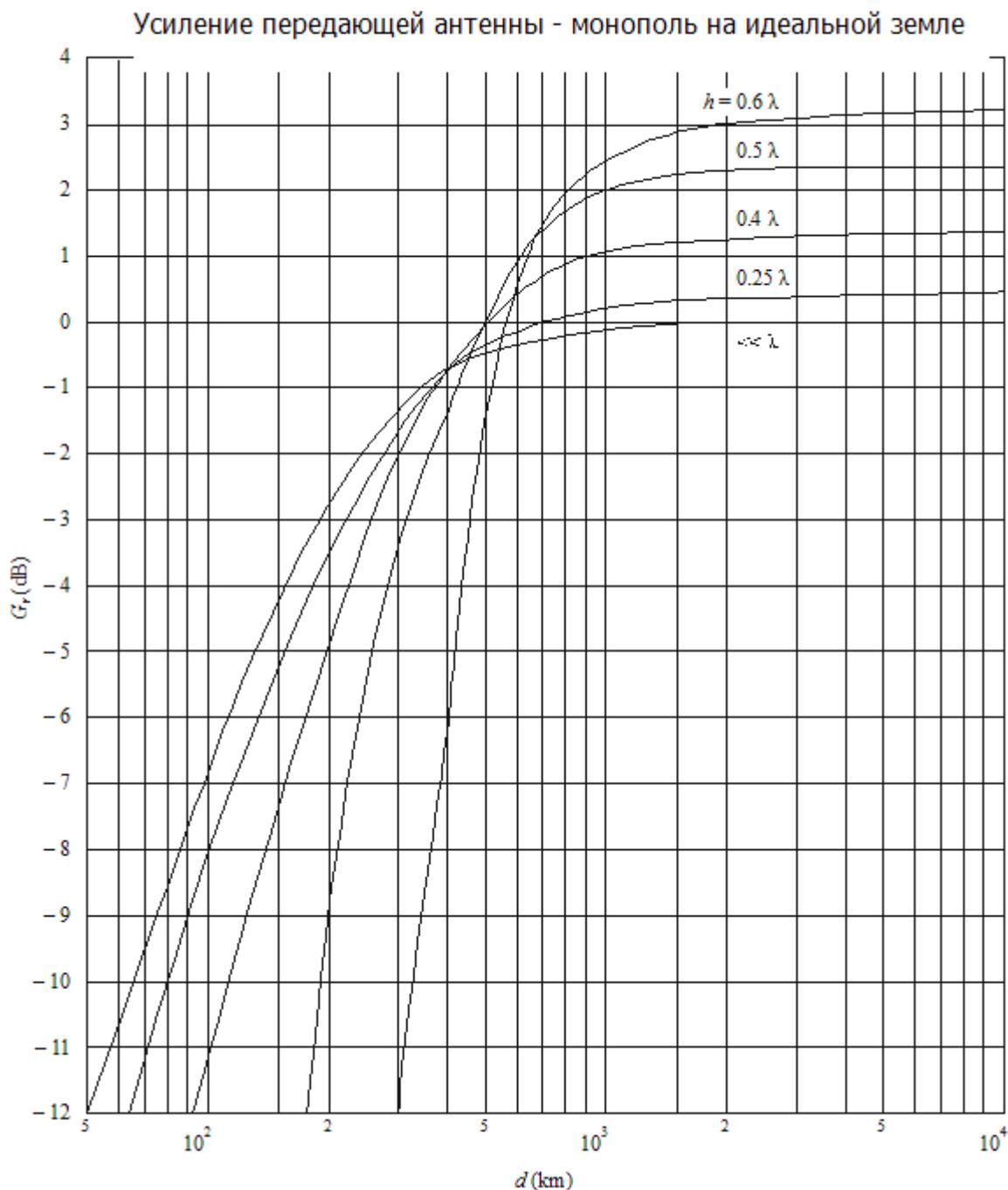


Рис. 8

В настоящее время накоплен большой экспериментальный материал по статистике напряженности поля земной волны на различных радиотрассах. В еще большей мере это относится к характеристикам мешающих сигналов, в особенности, приходящим по ионосферным каналам.

Обычно применяемый для определения **величины проводимости** метод компарирования приводит к тесной зависимости статистических характеристик измеряемой величины проводимости от статистических

характеристик напряженности поля, подверженной влиянию и других причин, что создает некоторые трудности при их разделении.

Такие параметры, как минимальная напряженность поля $E_{\text{мин}}$ и защитные отношения определяются на основе метода экспертных оценок, поэтому статистический характер этих параметров заложен в самом методе их определения.

Минимальная напряженность поля определяется как такая величина напряженности поля, которая обеспечивает отношение сигнал/шум на выходе приемника, считающееся приемлемым в случае аналоговых сигналов для субъективно определяемого качества приема при наличии атмосферных, промышленных, галактических шумов и шумов приемника. Основа этой величины — уровень физически измеренных атмосферных помех, — имеет статистический характер, параметры распределений и их зависимость от геофизических условий подробно описаны в Рек. Р.372-10.

Защитные отношения по совмещенному каналу также подчиняются вероятностным законам. Если их применять к протяженному отрезку времени радиовещания, на протяжении которого характер передач изменяется в широких пределах, то при сохранении одной и той же оценки качества передачи защитное отношение для различных видов передач будет неодинаковым. Его статистические параметры определяются статистикой видов передач на прослушиваемом канале.

Аналогичное положение и с **защитными отношениями по соседнему каналу**. В зависимости от статистического характера технических параметров мешающих сигналов — ширины полосы занимаемых частот, степени сжатия динамического диапазона, — изменяется и необходимое защитное отношение. Его изменения образуют некоторое статистическое распределение со своим средним значением и величиной разброса.

Таким образом, все технические параметры планирования являются статистическими величинами. Их законы распределения в настоящее время изучены не в полной мере, но оценки их основных параметров с некоторым приближением могут быть сделаны.

9. Статистические характеристики технических параметров канала распространения радиоволн.

В данном разделе рассматриваются статистические закономерности некоторых из основных технических параметров планирования, таких как усиление антенн, напряженность поля земной волны, защитные отношения по совмещенному и по соседнему каналам, проводимость почвы. Мешающие сигналы представляют собой сигналы от других станций с различными полосами модулирующих частот и различной степенью сжатия динамического диапазона. Параметры планирования, которые имеют статистические свойства, могут быть представлены следующей таблицей.

Параметры, имеющие статистическую природу:

P – мощность, подводимая к антенне, с учетом потерь в фидерной системе имеет разброс с СКО σ_P ,

η – КПД антенны, случайная величина со стандартным отклонением σ_η ,

$G_A(\varphi)$ – Коэффициент усиления антенны со стандартным отклонением σ_G ,

L – потери при распространении вдоль земли, имеющие СКО σ_L , зависящее от проводимости почвы, наличия лесов и других природных факторов,

A – защитное отношение от помех в совмещенном канале, имеет СКО σ_A ,

$A_{ск}$ – защитное отношение от помех в соседнем канале, имеет СКО $\sigma_{ск}$,

$A_{сс}$ – защитное отношение от помех в синхронной сети, имеет СКО $\sigma_{сс}$,

$E_{п}$ – уровень помех от мешающих станций, имеющий СКО $\sigma_{п}$,

E_a – уровень атмосферных помех, имеющий СКО $\sigma_{ап}$,

ρ – отношение сигнал-помеха в месте приема, имеющее СКО σ_ρ ,

$E_{мин}$ – минимальная напряженность поля, имеющая СКО $\sigma_{Ем}$,

E – напряженность поля в месте приема. Имеет СКО σ_E .

Из приведенного перечня видно, что все параметры, определяющие поведение сигнала в месте приема и от которых зависит надежность приема, имеют статистический характер.

9.1. Факторы, влияющие на статистический разброс подводимой мощности и на разброс коэффициентов усиления передающих антенн.

9.1.1. Подводимая мощность.

Мощность передатчика в большинстве случаев близка к номинальной, но в некоторых случаях в зависимости от величины питающего напряжения, отклоняющегося обычно не больше, чем на $\pm 5\%$, может колебаться в пределах $\pm 10\%$. При любом реальном законе распределения отклонений СКО составит примерно не больше 0,3 дБ. Однако более существенные потери могут быть связаны с фидерной системой. У различных антенн на разных радицентрах длины фидеров могут составлять от 100 м до 2-3 км. На них потери могут быть от 0 до половины мощности. Статистика потерь мощности не известна, но оптимистичная оценка СКО может быть $\approx 0,5$ дБ.

У передающих антенн имеются два основных случайных параметра: коэффициент полезного действия (КПД) и диаграмма направленности.

9.1.2. КПД передающих антенн (несимметричных монополей).

Известно, что КПД не бывает 100%. Причин этому много. Неидеальное согласование, излучение помимо основного полотна и не в заданный сектор, потери на нагрев проводов, и наибольшие – это на нагрев почвы под антенной. Зная технические параметры антенн и проводимость почвы, можно оценить КПД расчетным путем [1]. Однако в реальных условиях потери будут другими. В расчеты не входят потери на излучение фидеров, излучение

антенн в неплановых направлениях и значительная неопределенность величины проводимости почвы. Все это приводит к весьма большим потерям мощности, поступающей от передатчика. В литературе встречаются различные оценки КПД, от 90% до 10%. Для хорошо выполненных антенн с плотной уложенной в земле под антенной сеткой большого радиуса КПД достигает 80%. Однако в подавляющем большинстве случаев, по мнению специалистов радиоцентров, КПД не ниже 70%. Все сказанное относится к ДВ и СВ. Возможны случаи с плохим заземлением, тогда КПД может упасть до 50%.

Достаточной статистики величин КПД не имеется, поэтому оценка распределения может быть сделана только предположительно. Самое простое это допустить, что среднее значение КПД равно 0,7, распределение – нормальное, а стандартное отклонение $\sigma_{\text{КПД}}$ в реальных условиях, как рекомендуется в статистике, вытекает из правила: наблюдаемый в жизни размах составляет 5σ . Если наименьшее значение 0,5, а наивысшее 0,9, то размах составит 0,4. В нашем случае это приводит к СКО, или $\sigma_{\text{КПД}}$, которое составит примерно 0,5 дБ. Реально вряд ли будет именно так, но при других разумных предположениях отклонения не должны быть большими.

9.1.3. Статистические характеристики диаграмм направленности передающих антенн.

Основная часть парка передающих антенн являются антеннами типа "вертикальная мачта" и теоретически должны обладать круговой диаграммой направленности. Однако проведенные измерения диаграмм направленности показывают, что в действительности диаграммы направленности никогда не бывают круглыми, и отклонения от круговой диаграммы могут быть весьма существенными.

В качестве основных причин, приводящих к отклонению диаграмм направленности от круглой формы, можно привести следующие факторы:

- азимутальную неравномерность проводимости подстилающей поверхности (например, в одном секторе направлений от передатчика может находиться болотистая местность, в другом секторе – сухая почва),
- азимутальную неравномерность на местности водных объектов (например, наличие долины реки, вдоль которой энергия может распространяться значительно более интенсивно) – азимутальную неравномерность рельефа местности (например, если передающая антенна расположена на местности, имеющей заметный уклон),
- азимутальную неравномерность расположения на местности лесных массивов,
- наличие вблизи от передающей антенны металлических сооружений и конструкций (линии электропередач и их опоры, другие близко расположенные антенны передающего центра),
- влияние расположенной вблизи от передающего центра городской застройки (особенно бетонных зданий высокой этажности, содержащих внутри стен металлические конструкции).

Все перечисленные факторы можно охарактеризовать в рамках единой формулировки как нарушение азимутальной симметрии свойств подстилающей поверхности.

Первое исследование, в котором детально изучено влияние диаграммы направленности передающей антенны на формирование зоны покрытия в зоне городской застройки и в соседних загородных районах, по-видимому, было проведено в Англии в 20-х годах прошлого века и опубликовано в 1929 г. (R.H. Barfield, G.H. Munro, "The attenuation of wireless waves over towns", Proc. IEE, 1929, v.67, pp. 253-270). Передатчик был расположен в Лондоне, прием осуществлялся во многих пунктах в радиусе до 160 км. Диапазон длин волн при измерениях составлял 260 – 440 м. Передающая антенна имела две металлические поддерживающие мачты, вносящие изменения в диаграмму направленности, которая по измерениям на удалении 10 км от передатчика имела вид, показанный на рис.9. Цифры на окружностях определяют шкалу в милливольтгах на метр. Сравнительно ровный характер местности за городом обусловил хорошую повторяемость линий равной напряженности поля на значительных расстояниях от передатчика.

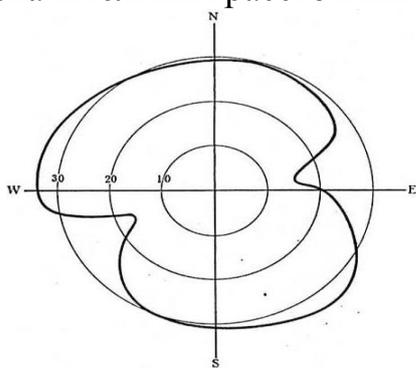
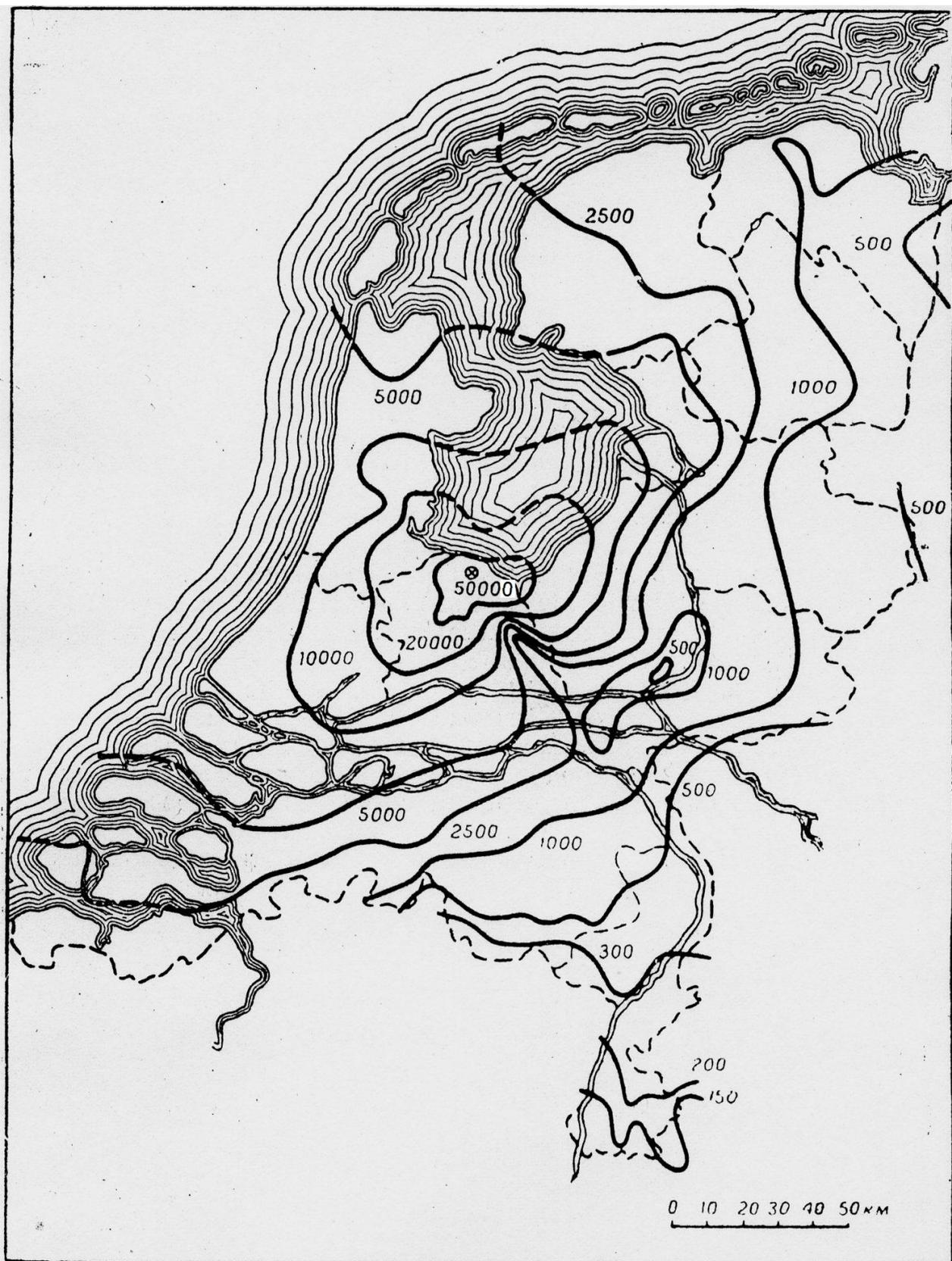


Рис. 9

Это хорошо видно на рис.10, где показаны линии равной напряженности поля (мВ/м) на больших расстояниях от Лондона. Причина заключается в местных особенностях на территории около антенны в радиусе примерно до 10 длин волн. Это может быть, например, наличие строений, неровностей рельефа, других антенн, водоемов или лесных массивов и т.д.



Рис. 10



Кривые равной напряженности поля ($\lambda = 301,5 \text{ м}$, $P_{\Sigma} = 15 \text{ кВт}$)
на территории Голландии

Рис. 11

Отметим, что, как правило, изменения в диаграмме направленности антенн, вызванные близкими к антенне возмущающими факторами, которые становятся частью общей излучающей системы, накладывают отпечаток на структуру напряженности поля на всей полезной зоне, как это показано на рис. 9 и 10. Местные крупномасштабные неровности рельефа на любых расстояниях от передатчика вдали от антенны могут вызывать локальные возмущения. Но на больших расстояниях от этих возмущений при движении в сторону удаления от передатчика их влияние постепенно затухает. Еще одной иллюстрацией может служить карта покрытия вещанием радиостанции в Голландии, приведенная на рис. 11. Здесь также хорошо видна неоднородность облучения поверхности.

Подобные картины наблюдаются во многих случаях. Примеры реальных диаграмм направленности передающих антенн с вертикальной поляризацией, полученные на территории Советского Союза путем облета антенн на вертолетах и на самолетах на расстояниях менее десяти километров, показали, что не существует диаграмм направленности в виде идеальной окружности.

В табл.2 приведены данные по некоторым из антенн ДСВ диапазона. Приняты следующие обозначения: h - высота антенны, H - высота облета антенны, R - радиус облета антенны, σ_g среднеквадратичный разброс коэффициента усиления передающей антенны в дБ. Как видно из табл.2, минимальный статистический разброс 0.7 дБ соответствует антенне N4, $f = 272$ кГц, максимальный статистический разброс 5.5 дБ - антенне N8, $f = 666$ кГц. На рис. 12 и 13 приведены азимутальные зависимости коэффициента усиления G (в дБ) для антенн N4 и N8 (т.е. для случаев самого малого и самого большого отклонения от азимутальной симметрии). Вид одной из диаграмм в азимутальной плоскости на Дальневосточном центре приведен на рис. 14. В целом прослеживается определенная тенденция к росту стандартного отклонения с частотой. Отклонение от круга по всем антеннам характеризуется стандартным отклонением от 0,7 до 5,5 дБ. Среднее значение 2,43 дБ.

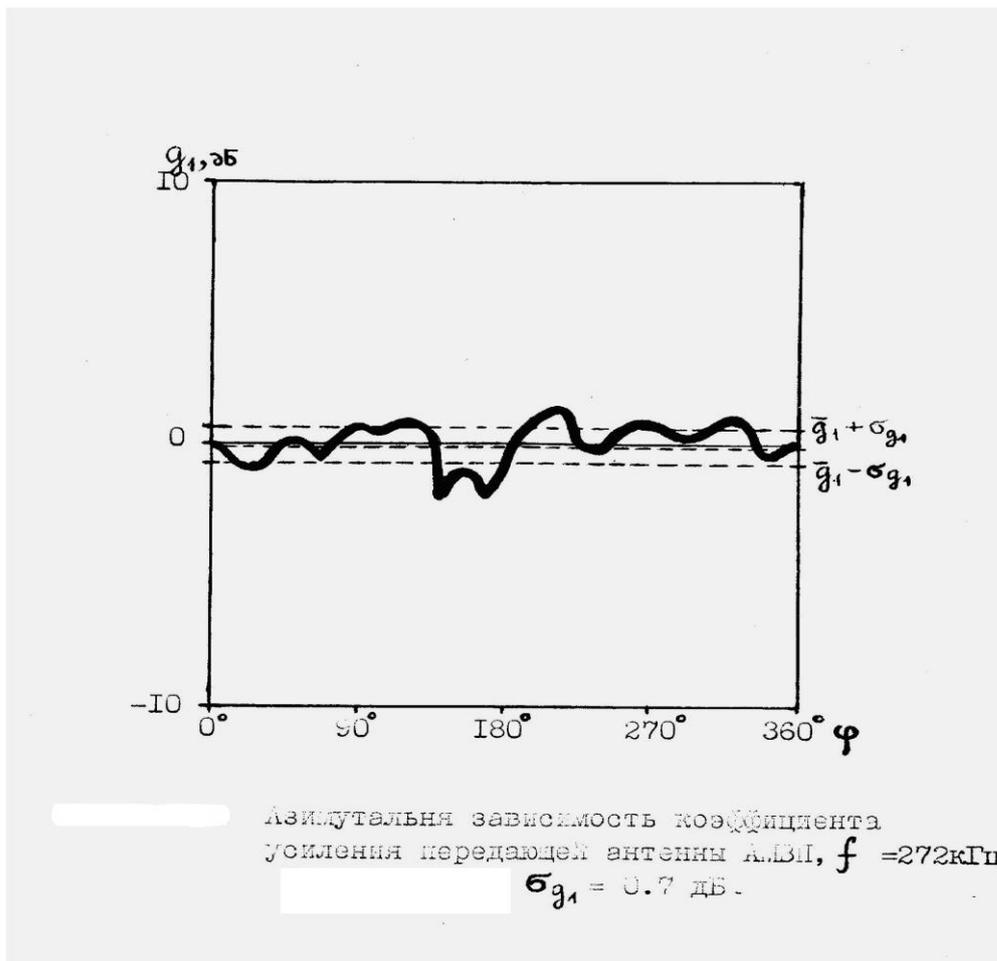
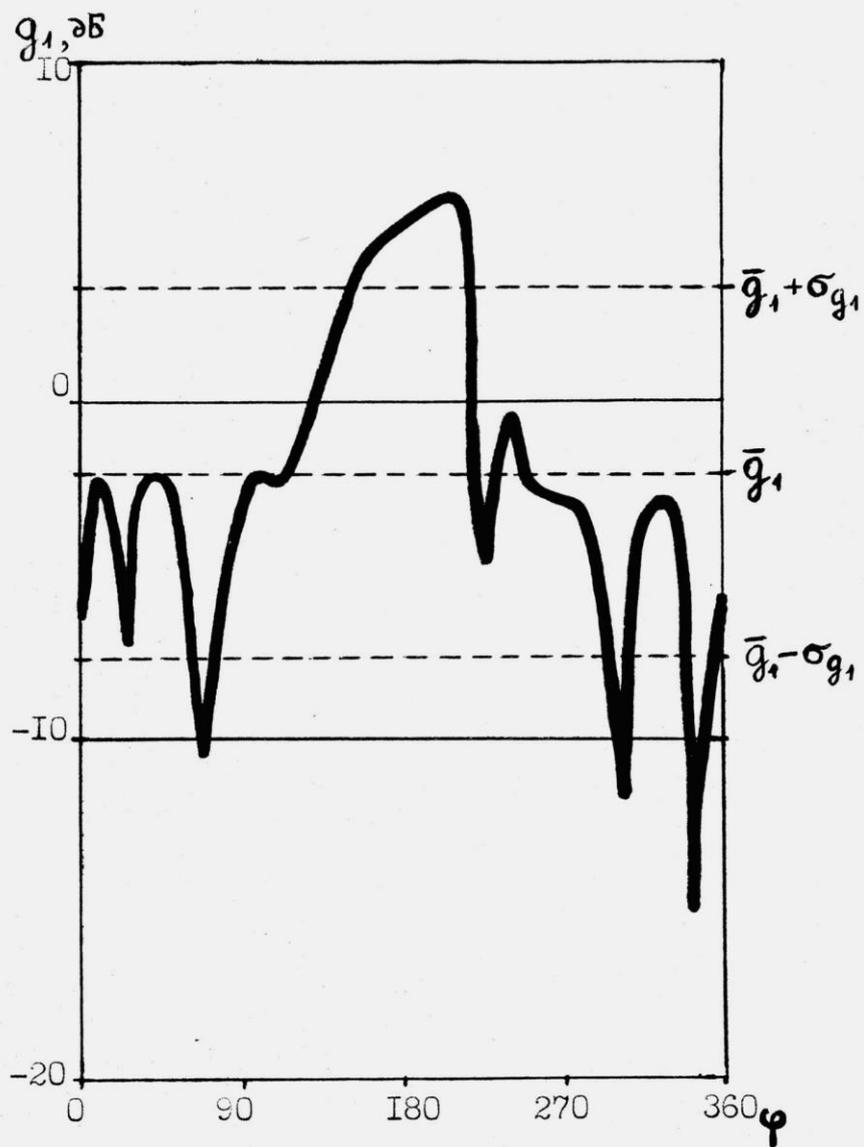


Рис. 12

Таблица 2

| № п/п | f, кГц | Тип антенны | h, м | H, м | R, км | σ_g , дБ |
|-------|--------|--------------|------|------|---------|-----------------|
| 1 | 155 | АРД | - | 300 | 6 | 1.7 |
| 2 | 171 | ШАРРТ | 257 | 100 | 3 | 1.2 |
| 3 | 171 | АМНП | 257 | 200 | 3.5 | 1.4 |
| 4 | 272 | АМВП | - | 100 | 2 | 0.7 |
| 5 | 549 | АМШП | - | 100 | 2.5 | 2.0 |
| 6 | 549 | АМ | 257 | 250 | 3.5 | 1.6 |
| 7 | 549 | АРРТ | - | 100 | 2 | 3.5 |
| 8 | 576 | Диск | - | - | - | 3.3 |
| 9 | 666 | АМШП | - | 300 | 6 | 5.5 |
| 10 | 1278 | Шпренгельная | 70 | 150 | 2.5 | 3.1 |
| 11 | 1404 | АМШП | - | 100 | 2.5 | 2.7 |
| | | | | | Среднее | 2.43 |



Азимутальная зависимость коэффициента усиления
 передающей антенны АМПП, $f = 366$ кГц
 $\sigma_{g_1} = 5.5$ дБ

Рис. 13

частота 576 кГц
диаграмма направленности передающей антенны Диск
в относительных единицах

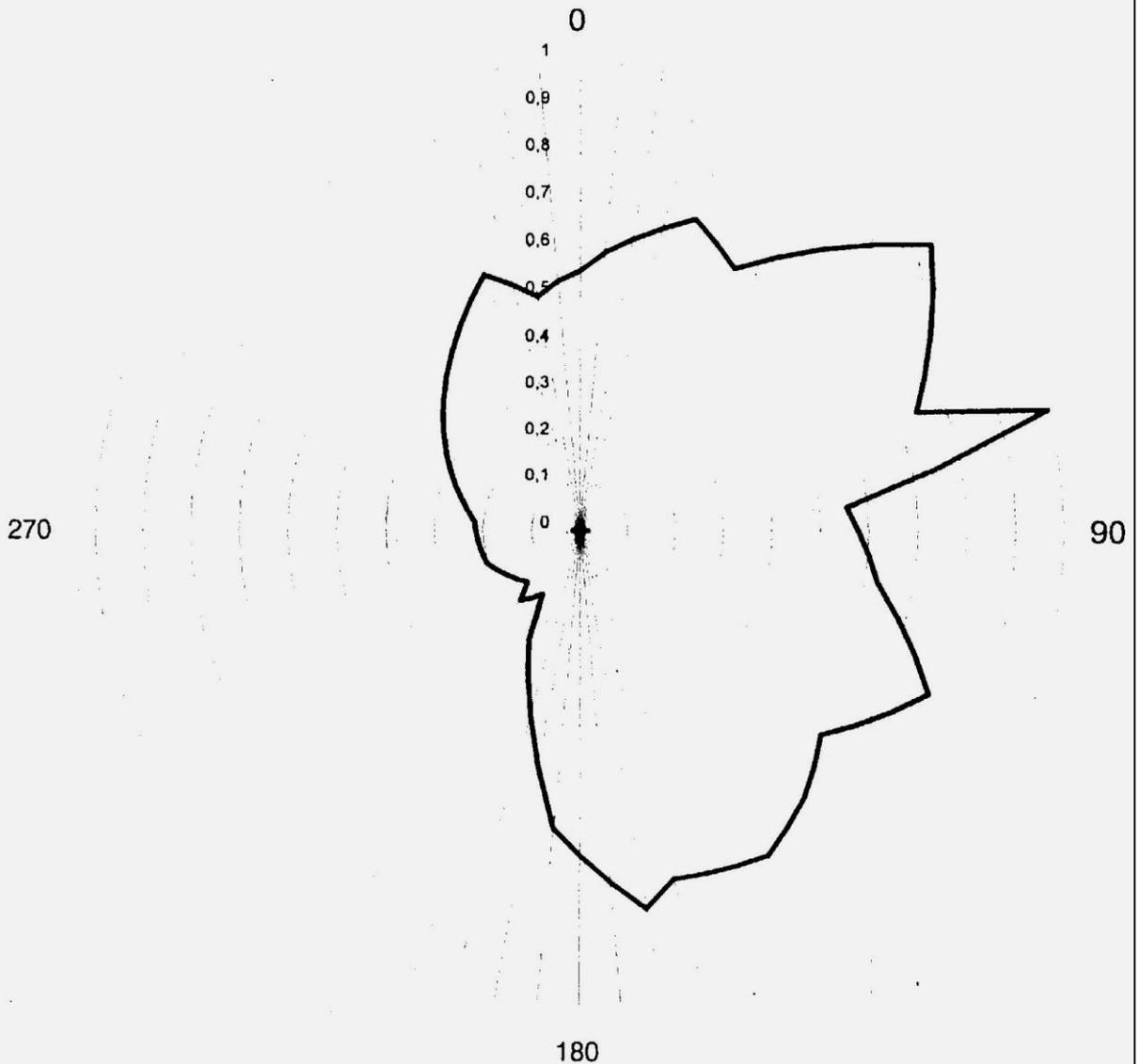


Рис. 14

На больших обслуживаемых территориях к неоднородностям облучения, вызванным искаженной диаграммой антенны, добавляются крупномасштабные изменения от локальных местных особенностей рельефа, свойств поверхности или других природных факторов. Пример таких зон, в частности, полученных на частоте 640 кГц для г. Вашингтона и прилегающих территорий, приведен на рис. 15 [14]. По различным направлениям от передающего центра профили местности неодинаковы, что сказывается на

характере изменения напряженности поля с расстоянием. Аналогичные измерения были выполнены в районе Нью-Йорка на частоте 610 кГц. Результаты приведены на рис.16 [15]. Как можно видеть, в этом районе неравномерность облучения местности выражена еще более ярко.

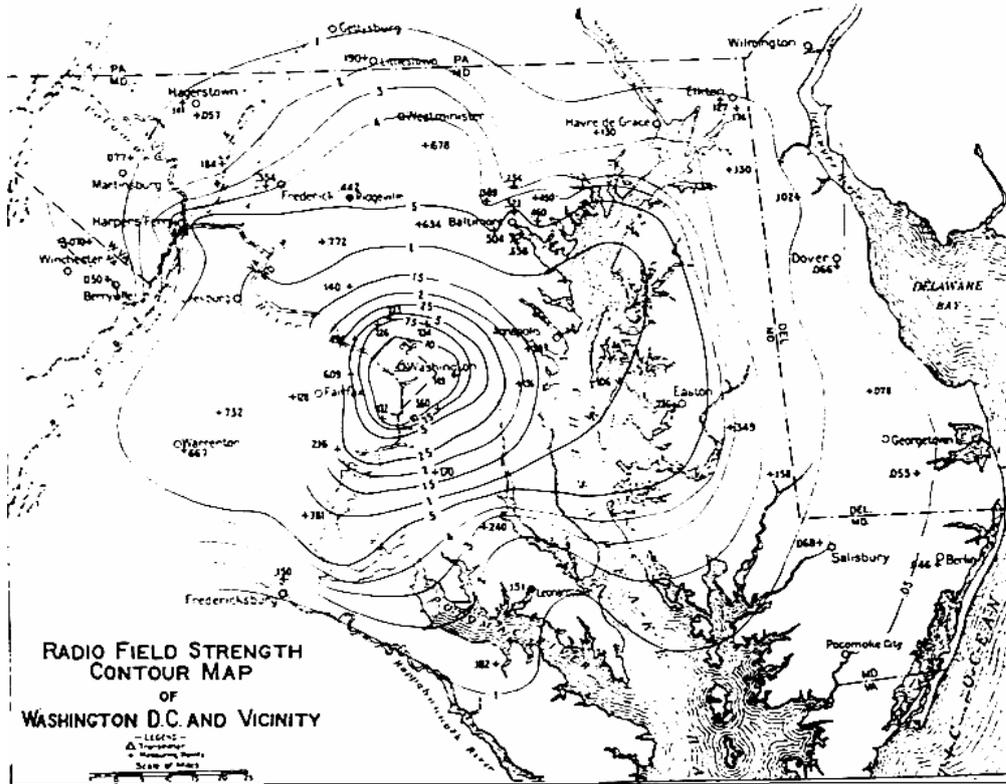


Рис. 15

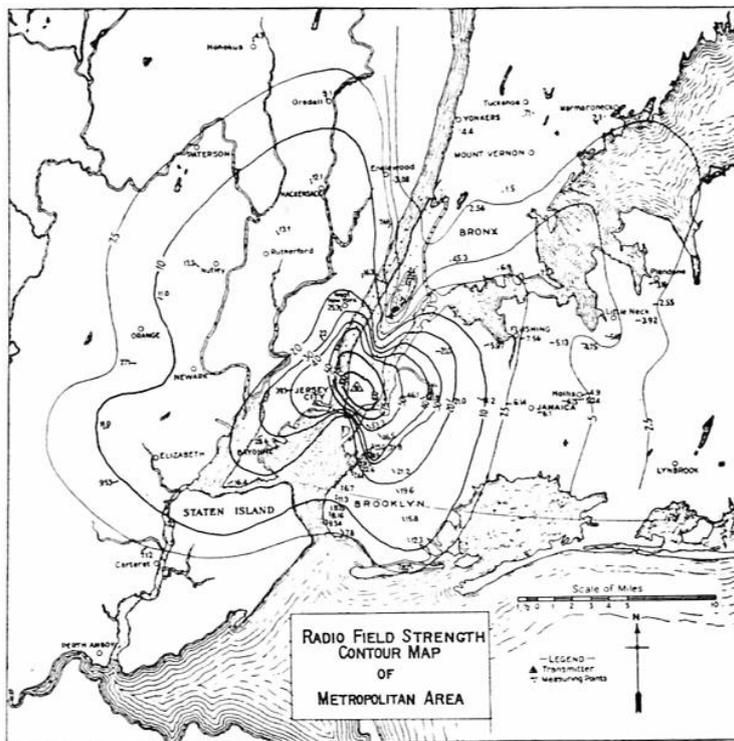


Рис. 16

Некоторые наблюдения приведены в [16]. Все рассмотренные выше примеры говорят о большой неравномерности облучения заданной территории. Перепад уровня сигнала по разным направлениям на одинаковом расстоянии от передатчика достигает иногда 20 дБ.

9.2. Потери при распространении вдоль земной поверхности.

Потери при распространении вдоль земли связаны в основном с проводимостью поверхности. Этот параметр изменяется в широких пределах, и во многом определяет как среднюю величину напряженности поля, так и ее случайные изменения от места к месту. Масштабы изменения проводимости поверхности и связанной с ней изменения напряженности поля на территории средних широт можно видеть из следующих данных. В табл. 2 приведены данные о типичной проводимости различных видов почв.

Таблица 2.

| Вид подстилающей поверхности | σ , См/м. | ϵ_r |
|---|-------------------|--------------|
| Морская вода | $4 \cdot 10^3$ | 80 |
| Умеренно сырая земля | 10^{-2} | 20 |
| Умеренно сухая земля | 10^{-3} | 15 |
| Сухая земля | $3 \cdot 10^{-4}$ | 7 |
| Очень сухая земля | 10^{-4} | 3 |
| Почва вечной мерзлоты | $\leq 10^{-4}$ | 3 |
| Пресный лёд при температуре -10°C | 10^{-5} | 3 |

На рис. 17 в качестве примера приведены кривые напряженности поля для почв различной проводимости. Из рисунка, в частности, можно видеть, что изменение проводимости почвы в три раза, с 10^{-2} на $3 \cdot 10^{-3}$, влечет за собой снижение напряженности поля на расстоянии 100 км на 12 дБ, а при переходе от 10^{-2} на 10^{-3} , то есть от умеренно сырой к умеренно сухой почве, – на 21 дБ. Это весьма значительные изменения напряженности поля при реальных природных ситуациях.

Это оценки проводимости почвы при гладкой поверхности. Но гладкая поверхность не полностью определяет суммарные потери. Наличие неровностей рельефа и растительности существенно снижают проводимость почвы, увеличивая потери напряженности поля. Эта эффективная проводимость поверхности может в несколько раз отличаться от первоначальной проводимости почвы в гладком случае. Влияние рельефа изучалось с момента начала изучения распространения радиоволн. Первое заметное продвижение в диапазоне сверх длинных волн было сделано Кьяндским [17], который предложил формулу для расчета напряженности поля на протяженных трассах для трех видов рельефа: слабо неровный, горы средней высоты и гористый рельеф.

Однако в дальнейшем таких укрупненных характеристик рельефа для многих практических случаев оказалось недостаточно. Более детальное рассмотрение влияния неровностей после обобщения большого числа исследований ряда авторов было предпринято Фейнбергом [18]. Предложенные им формулы позволяют оценить дополнительное затухание

(или изменение эффективной проводимости) на рельефах с небольшими неровностями, меньше или порядка длины волны, что свойственно многим районам России. В достаточно доступном виде эти результаты изложены В.Е.Кашпровским [19].

Оценка эффективной проводимости почвы была предпринята в НИИРе на трассах Москва – Белоруссия (западное направление, конец весны) и Москва – Елаьма (восточное направление, зимний сезон). Измерения проводились компаратором SMV-11 на автомобиле, во многих промежуточных пунктах по пути следования. Использовались радиовещательные станции, уровень сигнала которых в местах приема позволял провести надежные измерения.

9.2.1. Статистические характеристики проводимости подстилающей поверхности, связанные с рельефом местности.

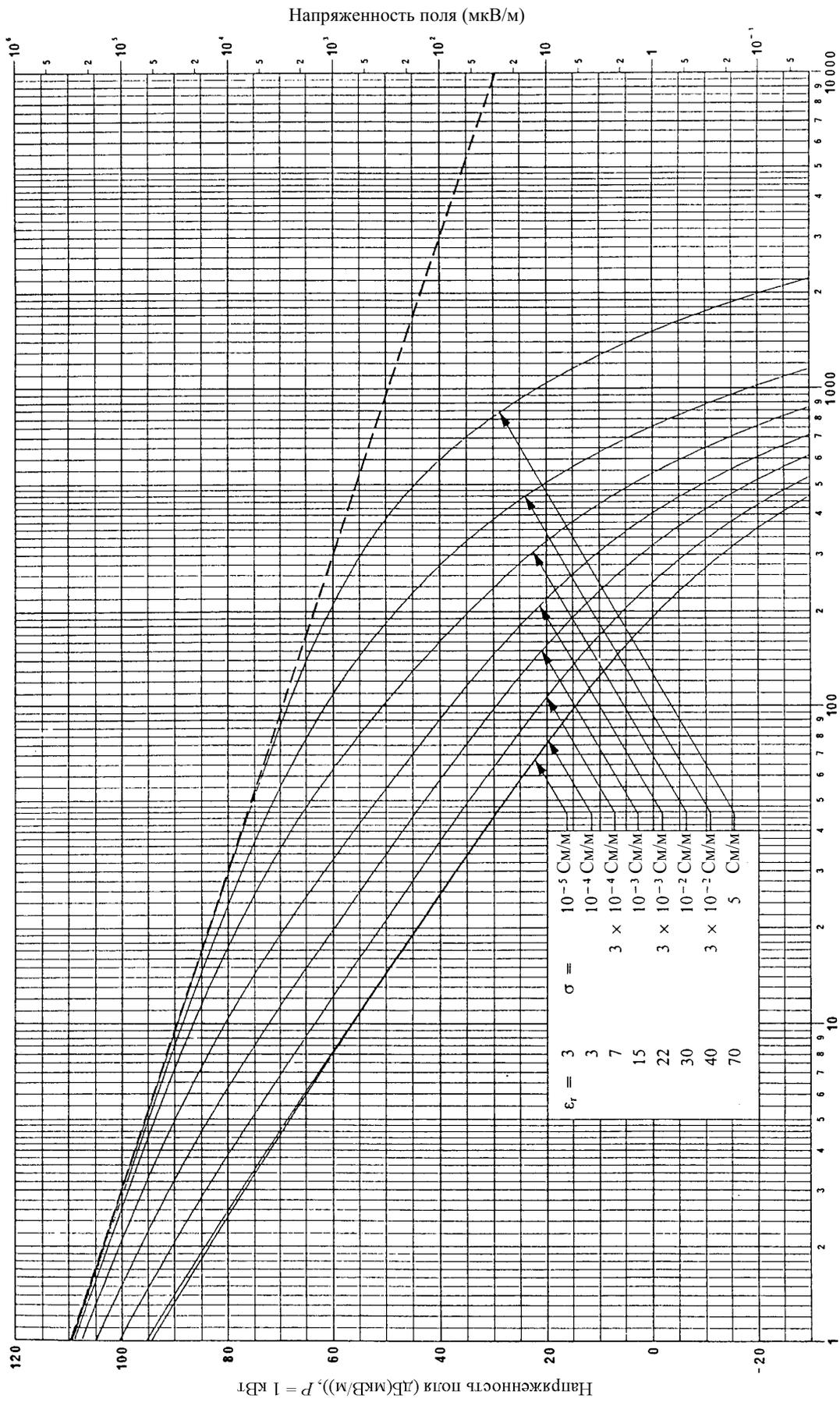
Так как параметры поверхности в различных местах неодинаковы, то статистические характеристики проводимости должны быть экспериментально определены для каждого из регионов по отдельности. В настоящее время наиболее полно изучен район между западной границей Белоруссии на Западе, Уральским хребтом на Востоке, С.-Петербургом на Севере и Северным Кавказом на Юге. Имеющиеся данные о проводимости содержат результаты измерений с 30-х годов, представляя достаточно полную картину усредненных значений.

Однако, исследования последних лет показали, что величина напряженности поля земной волны испытывает значительные изменения, связанные со случайными колебаниями температуры, влажности, а также медленные систематические изменения сезонного характера. В этом плане имеющийся материал не может служить базой для построения необходимых зависимостей.

Подробные измерения напряженности поля земной волны с последующим пересчетом на проводимость подстилающей поверхности проводились в районе западнее Москвы, в белорусском направлении. Для измерений в СВ диапазоне использовались белорусские передатчики на частотах от 549 до 1566 кГц, а также передатчик в Каунасе (Литва) на частоте 666 кГц. Результаты расчетов проводимости почвы (усредненной эффективной) по измеренным значениям напряженности поля на трассах средних волн приведены в таблице 3. Для оценки проводимости как на длинных, так и на средних волнах, использовались только те измеренные значения напряженности поля, для которых надежно были отождествлены принимаемые передатчики и отсутствовали сколько-нибудь значительные помехи, влияющие на результат. По результатам этих измерений для радиоволн СВ диапазона среднее значение проводимости равно 3.7 мС/м, среднеквадратичное отклонение составляет 1.9 мС/м.

РИСУНОК 30

Кривые распространения земной волны для различных значений σ и ϵ_r



0368-30

Рис. 17

В таблице оставлено общепринятое обозначение проводимости σ . Оценки показывают, что распределение вероятности для проводимости обладает выраженным максимумом.

Результаты измерений проводимости на этих же трассах в ДВ диапазоне приведены в таблице 4. По этим результатам для ДВ диапазона получено среднее значение эффективной проводимости 4.7 мСм/м при *среднеквадратичном отклонении 1.0 мСм/м.*

Таблица 3

| Пункт передачи | Частота f , кГц | Проводимость σ , мСм/м |
|----------------|-------------------|-------------------------------|
| Осиповичи | 549 | 3.4 |
| Каунас | 666 | 5.1 |
| Колодищи | 873 | 2.6 |
| Ушачи | 1008 | 3.3 |
| Бобруйск | 1008 | 3.7 |
| Мядель | 1026 | 2.5 |
| Солигорск | 1026 | 6.5 |
| Могилев | 1026 | 3.4 |
| Колодищи | 1125 | 2.5 |
| Витебск | 1197 | 6.2 |
| Колодищи | 1197 | 3.6 |
| Барановичи | 1566 | 6.7 |
| Мядель | 1566 | 3.9 |

Таблица 4.

| | | | | | | | |
|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Частота, кГц | 153 | 171 | 207 | 225 | 234 | 261 | 279 |
| Проводимость, мСм/м | 4 | 3 | 5 | 5 | 5 | 6 | 4 |

На трассе Москва – Елаьтма измерения проводились в зимнее время на длинных и средних волнах на частотах от 153 до 1549 кГц. Результаты приведены в таблице 5. Видно, что проводимость в восточном направлении несколько выше, чем в западном, но основная причина видимо состоит в сезонном влиянии. Некоторые примеры измерений приведены на рис. 18.

Таблица 5

| Частота, кГц | Город | Длина трассы, км | Эффективная проводимость |
|--------------|------------|------------------|--------------------------|
| 153 | Талдом | 400 | ≈ 50 |
| 171 | Ногинск | 300 | ≈ 20 |
| 198 | Ногинск | 230 | 6 |
| 261 | Талдом | 330 | 5 |
| 549 | Чкаловская | 260 | ≈ 20 |
| 612 | Куркино | 300 | 3 |
| 792 | ОПРЦ | 200 | 7 |
| 873 | Ногинск | 230 | ≈ 20 |
| 1305 | Купавна | 250 | 5 |

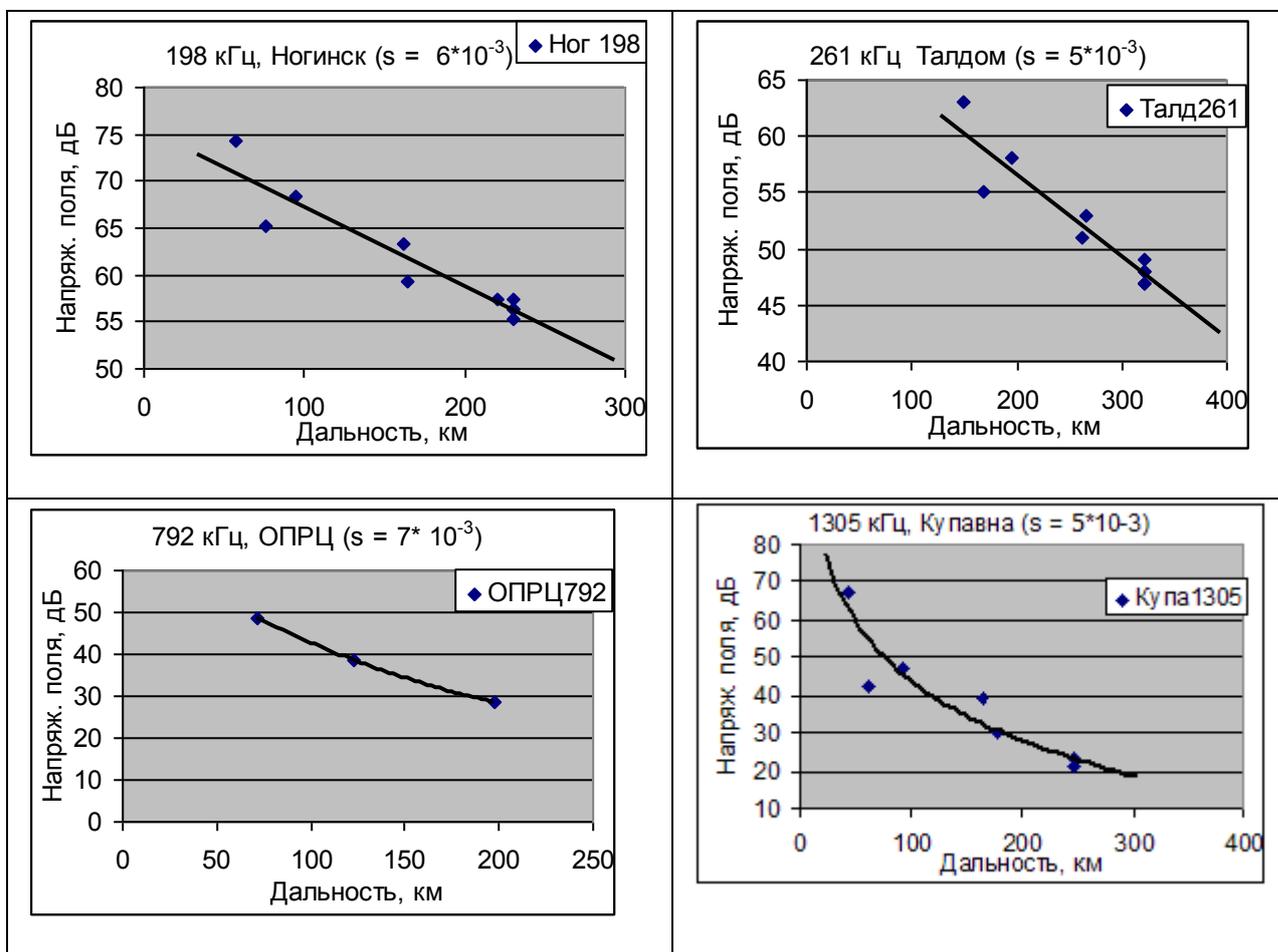


Рис. 18

Сопоставление с кривыми МСЭ-R проводится так, как показано на рис. 19 для частоты 1305 кГц из рис. 18.

За последние десятилетия необходимость в расчете полного профиля напряженности поля вдоль трассы распространения вызвало к жизни методику расчета напряженности поля с использованием интегрального уравнения [20]. В России этой проблемой активно занимались в Ленинградском университете, и по результатам исследований было опубликовано несколько работ. К настоящему времени после большого объема экспериментальных исследований, как в США, Англии, так и в России, выяснилось, что предложенный метод в ряде случаев дает хорошие результаты, а в других случаях дает менее точные результаты, чем обычные расчеты без учета рельефа.

Ниже на рис. 20, 21 приведены два примера. На первом рисунке показан профиль трассы (внизу), расчетная величина напряженности поля и результаты измерений [22]. Можно видеть, что расчетная кривая в среднем удовлетворительно согласуется с измерениями. На втором рисунке из [23] приведены расчеты и измерения для трех частот: 180 кГц, 245 кГц и 549 кГц (для частоты 245 кГц кривые для упрощения рисунка не показаны).

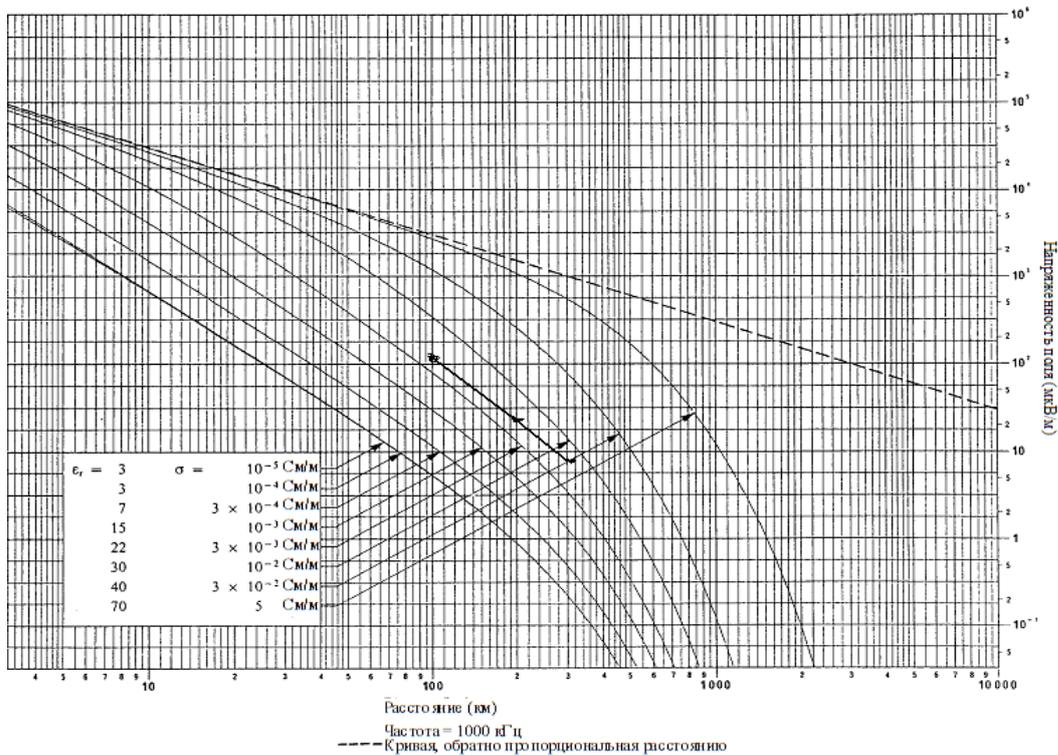


Рис. 19

Из этих измерений видно, что несовпадения с расчетом часто превышают 8-10 дБ. В таблице σ - это стандартное отклонение измеренных значений от расчетной кривой, дБ. Для всех частот СКО составляет 5...8 дБ. Это много. Несмотря на это, метод интегрального уравнения является перспективным, но требует существенной доработки.

Для многих расчетов потребность в учете отдельных крупных неровностей или препятствий сохраняется. В последние годы были проведены исследования затухания напряженности поля за горными препятствиями [24]. На основе данных, полученных при измерениях в Испании, Македонии и Греции, организованных DRM консорциумом, были получены кривые ослабления напряженности поля земной волны на ряде частот в диапазоне СВ, вызванного влиянием рельефа для высот препятствий $0,6\lambda \leq h \leq 4\lambda$ при расстояниях от препятствия до приемника $d \leq 25$ км (Рис. 22).

На основе этих данных, сгруппированных по нескольким узким пределам параметра h/λ , используя рассчитанные тренды, было предложено общее уравнение, описывающее экспериментальное ослабление напряженности поля земной волны в зависимости от расстояния между приемником и препятствием.

9.2.2. Характеристики проводимости подстилающей поверхности, связанные с наличием лесного покрова

Влияние леса на всех частотах было известно давно. Одна из первых обстоятельных работ о влиянии леса на гектометровые волны появилась в

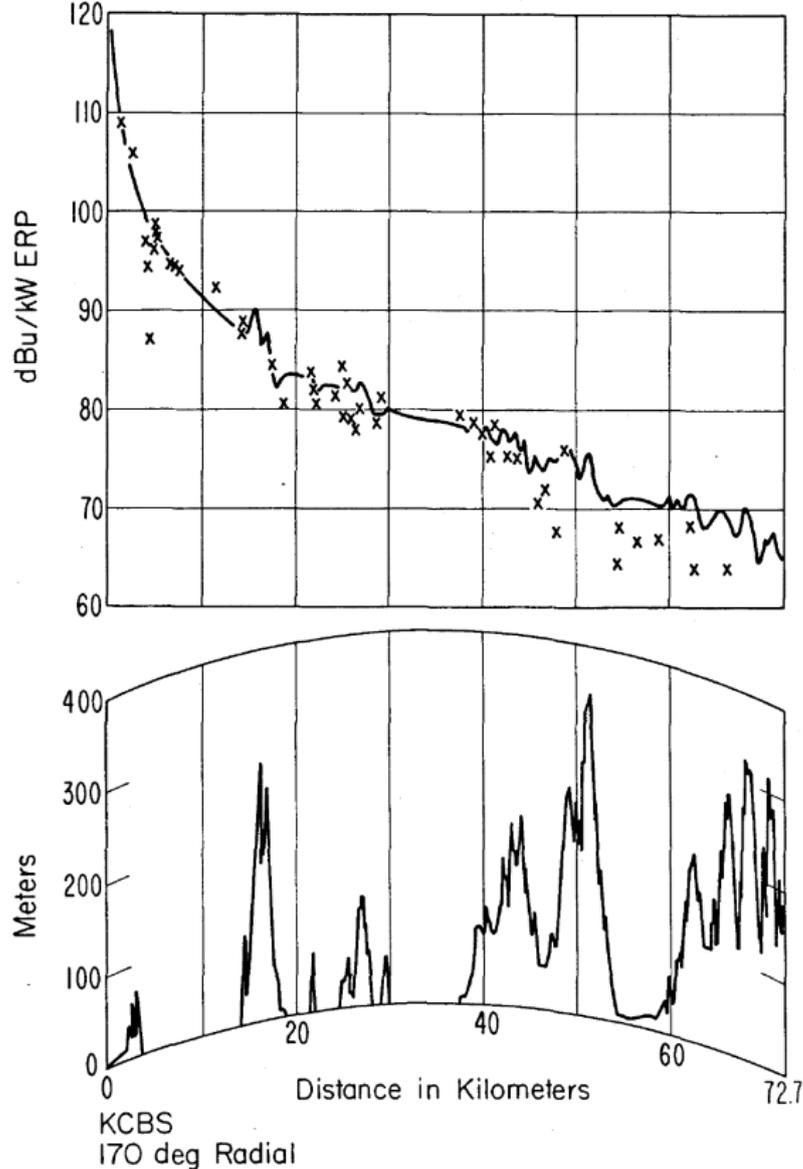
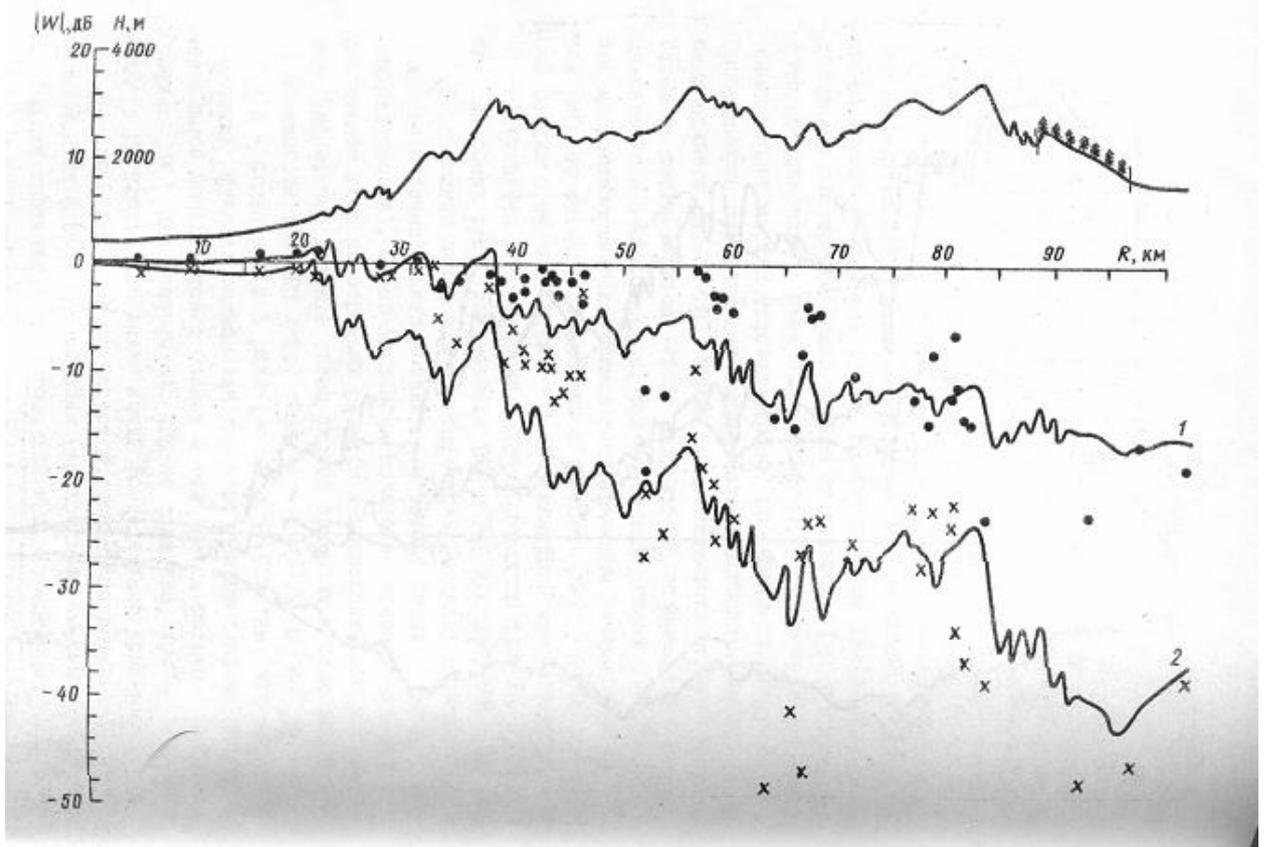


Рис. 20. $\lambda=405\text{ м}$ ($f=740\text{ кГц}$), макс $\Delta h = 350\text{ м}$ ($\lambda/\text{макс}\Delta h \approx 1,2$).

1928 г. [25]. Измерение количественных характеристик поглощения оказалось трудной задачей вследствие большого разнообразия видов лесов и схем расположения терминалов радиолиний.

Наличие лесов проявляется двояко. При распространении в лесу волны испытывают поглощение, которое можно учесть в итоговой величине принимаемого сигнала. В то же время лес и ландшафт весьма неоднородны, поэтому в каждой точке измерений величина напряженности поля случайна, и случайная компонента должна учитываться по правилам статистики. Наиболее важной особенностью поглощения радиоволн в лесу является весьма тесная связь с окружающей температурой. Через лесной покров в природе осуществляется климат-контроль над напряженностью поля. Поэтому рассматривать поглощение и сезонные изменения, связанные с лесными массивами, необходимо совместно.



| Модель трассы | Параметры сопоставления эксперимента с теорией | | | | | | | | |
|-------------------|--|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|---------------------------------|------------|------------|
| | $\frac{\bar{\Delta}}{\Delta_k}$ | ϵ | Δ_p | $\frac{\bar{\Delta}}{\Delta_k}$ | ϵ | Δ_p | $\frac{\bar{\Delta}}{\Delta_k}$ | ϵ | Δ_p |
| | $f = 180 \text{ кГц}$ | | | $f = 245 \text{ кГц}$ | | | $f = 549 \text{ кГц}$ | | |
| Экспериментальная | $\frac{-0,3}{-0,2}$ | 5,0 | -4,0 | $\frac{-2,2}{-3,3}$ | 6,3 | -5,4 | $\frac{-2,1}{0,6}$ | 8,0 | -9,7 |
| Картографическая | $\frac{-1,2}{-2,2}$ | 4,8 | 6,0 | $\frac{-3,3}{-5,1}$ | 6,4 | -7,2 | $\frac{-1,8}{-1,2}$ | 7,6 | -11,6 |

Рис. 21

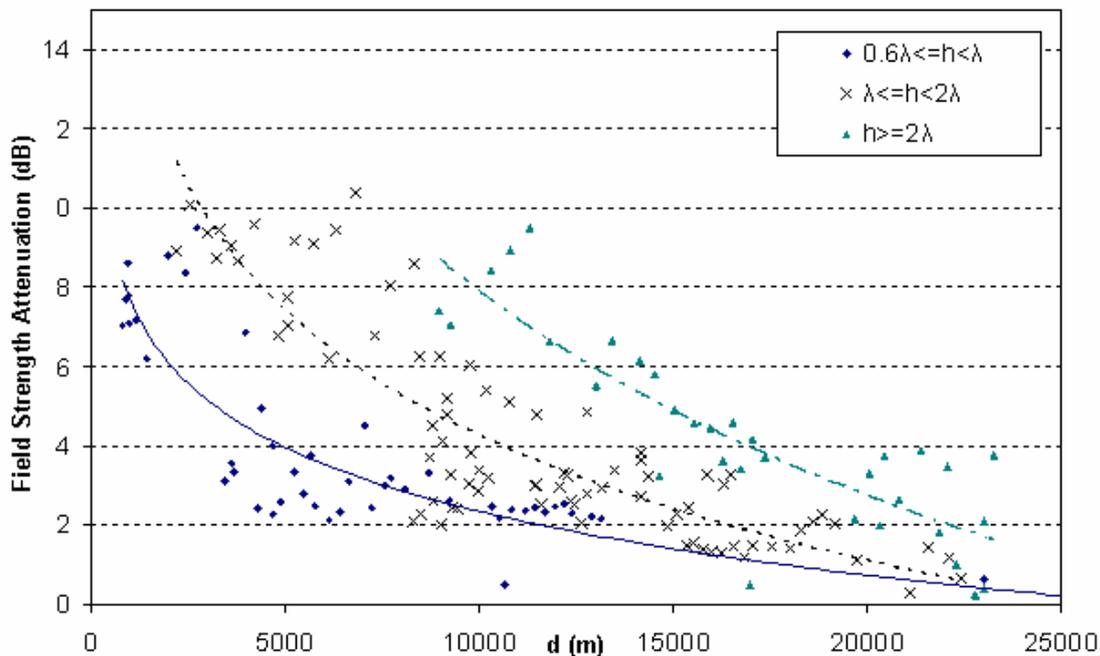


Рис. 22. Кривые ослабления напряженности поля земной волны из-за влияния одиночного препятствия в диапазоне СВ

9.2.2.1. Регулярная компонента потерь в лесу при различной степени углубления в лесной массив.

Сезонные изменения напряженности поля, которые обычно связывают с изменением состояния лесного покрова, изучаются на трассах с закрепленными терминалами. Связывалось это с наличием лесного покрова, но не все исследователи были с этим согласны. Одними из весьма полных экспериментов по изучению влияния леса при продвижении вглубь лесного массива были исследования, проведенные в Швейцарии в 30-40-х годах [26].

Эксперимент проводился много лет с помощью городского передатчика Берна. Ранее наблюдения в ближайшем окружении передатчиков Беромюнстера и Зоттенса подтвердили зависимость профиля напряженности поля при измерении на рамочную антенну от времени года и температуры леса. Результаты измерений на частоте 1375 кГц в зимних и летних условиях приведены на рис. 23.

Рисунок показывает профиль напряженности поля, принятый в летних и зимних условиях, а с помощью штриховки показывает теоретическую поправку этих кривых распространения, рассчитанных с предпосылкой умеренной проводимости земли 10 мС/м. Наибольшее наблюдаемое на конечном расстоянии колебание достигло 12 дБ.

На рис. 24 показаны два профиля напряженности поля на более низких частотах и на более протяженных расстояниях в условиях прерывистого леса. Оценки показывают, что для зимних условий кривая эффективной проводимости поверхности для частоты 1375 кГц соответствует величине

несколько меньше 1 мС/м, а кривым для 556 кГц и 677 кГц примерно 3 мС/м. Карта измерений показана на рис. 25.

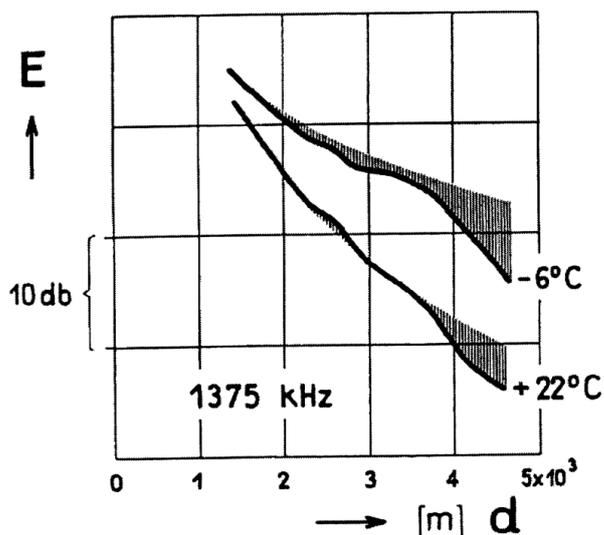


Рис. 23. Профиль напряженности поля при движении сквозь лес Бремгартен, в зависимости от температуры в лесу.

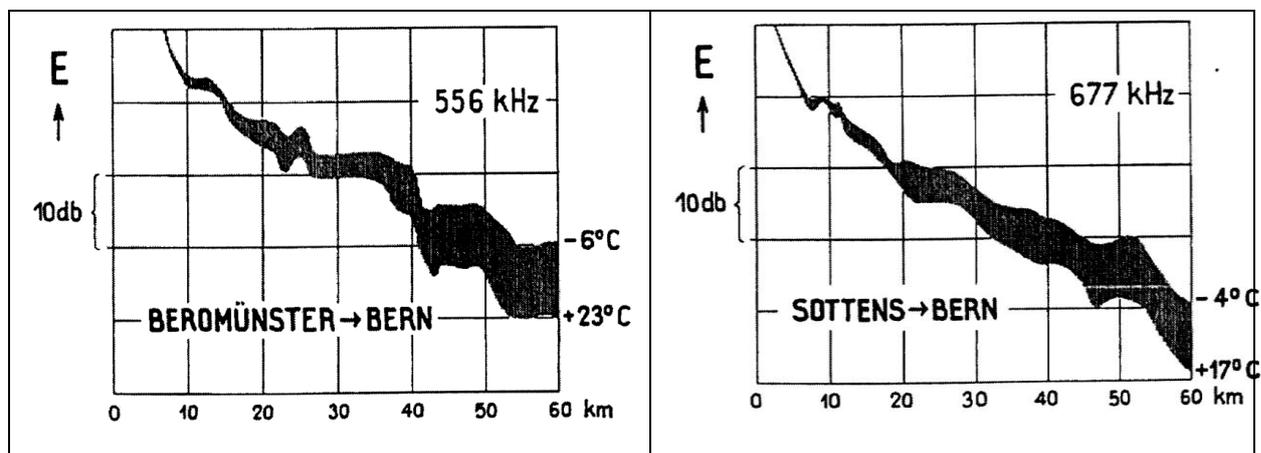


Рис. 24. Профиль напряженности поля в умеренных насаждениях.

Можно разделить почвенные потери и растительные потери, если пренебречь растительными потерями при зимних температурах. Из приведенных авторами статьи профилей на рис. 23 и 24 можно оценить дополнительные потери, вызванные прерывистым лесом. Они приведены на рис. 26 и 27.

Приведенные результаты измерений показывают, что существует регулярная компонента сезонных изменений напряженности поля, величина которых достигает 8 – 12 дБ для умеренных перепадов температур центральной Европы. Регулярная компонента может быть учтена в методике расчета медианной величины напряженности поля. Она в определенной степени характеризует климатический контроль напряженности поля, но в основном для ограниченных пространств с малым набором частот из СВ диапазона.

Влияние леса на проводимость почвы изучалось в России [19]. Исследования показали, что при частичной занятости трасс лесным массивом проводимость может снизиться в 2-3 раза, как показано на рис. 28.

9.2.2.2. Характер каждодневных изменений

Ежедневные измерения напряженности поля приведены на рис. 29 [26]. На этом рисунке можно видеть случайную компоненту для каждого месяца от года к году. Она должна учитываться вместе с другими случайными параметрами при вероятностной оценке принимаемой напряженности поля.



Рис. 25

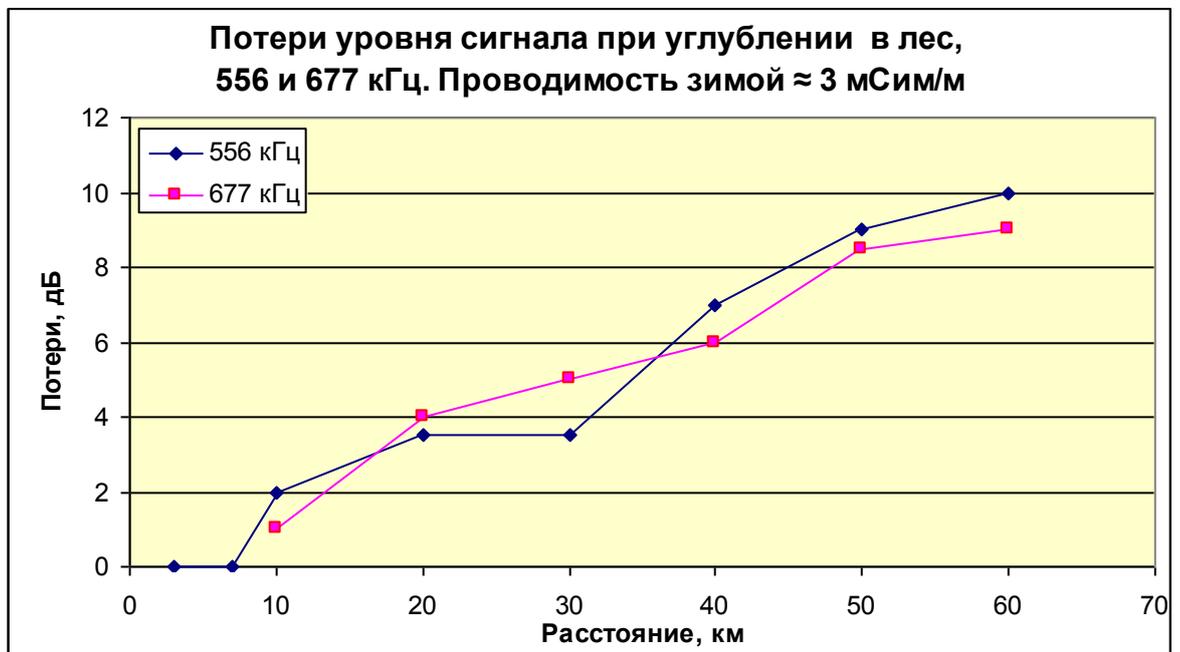


Рис. 26

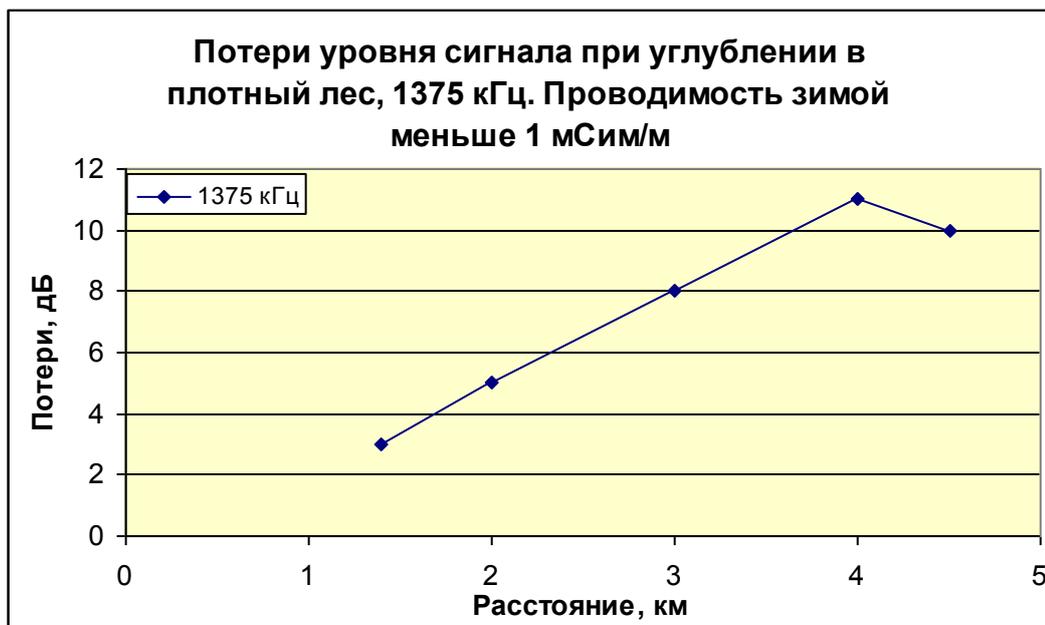
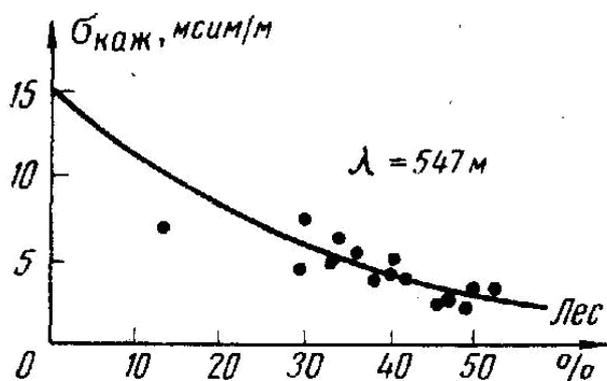


Рис. 27



Зависимость кажущейся проводимости от заполнения трассы лесом на длине волны $\lambda = 547 \text{ м}$

Рис. 28

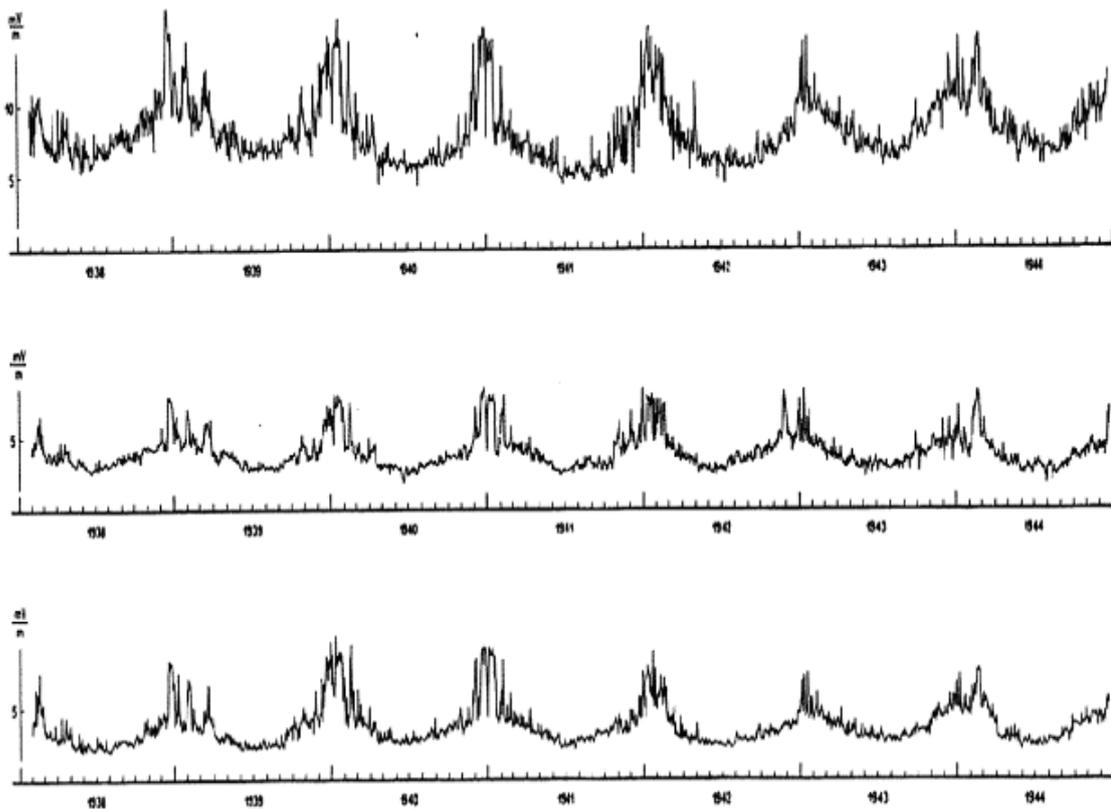


Рис. 29. Ежедневные значения уровня сигнала передатчика Беромюнстера (100 кВт, 556 кГц) и Зоттенса (100 кВт, 677 кГц) в Берне и Св. Галлен. Наверху: Беромюнстер – Берн, 62 км. Середина: Беромюнстер – Св. Галлен, 93 км. Внизу: Зоттенс – Берн, 63 км. Период: 1938 – 1944 годы.

9.2.3. Статистические характеристики проводимости подстилающей поверхности, связанные с климатическими условиями, на трассах различной протяженности в широком диапазоне частот

9.2.3.1. Сезонные изменения в различных климатических условиях.

Определенно о наличии сезонных изменений напряженности поля земных волн в СЧ диапазоне было сообщено в 1933 г. [27]. В настоящее время в основных чертах сезонные изменения известны. Так как они напрямую связаны с эффективной проводимостью поверхности, то там, где возможно, желательно пользоваться непосредственно изменениями напряженностью поля. Первые оценки основного сезонного параметра, размаха – разности между лучшим месяцем сезона (в северном полушарии это январь) и наихудшим (июль) – для диапазона средних волн были приведены в работах [28, 29], документах МСЭ-R и отражены в Рек. МСЭ-R P.1321 в виде таблицы 6:

Таблица 6

| | | | | |
|---|---|---|-----|-----|
| Средняя температура января для северного полушария, °С | 4 | 0 | -10 | -16 |
| Диапазон изменений уровней напряженности поля зима-лето, дБ | 4 | 8 | 13 | 15 |

На длинных волнах анализ результатов подмосковных измерений (с 1997г. по настоящее время) показывает, что размах увеличивается с расстоянием. В таблице 7 представлены результаты, полученные на трассах различной протяженности. Отобраны трассы, практически не подверженные влиянию ионосферы в дневное время. Так как размах зависит от двух параметров, частоты и расстояния, то представить его изменения удобно в виде кривых равных величин, как показано на рис. 30, построенных по данным табл.7.

В таблицу 7 включены трассы с различными почвенно-климатическими характеристиками, поэтому рис. 30 дает некоторое усредненное представление о размахе без детальной зависимости от параметров трассы. Трассы большей протяженности, особенно работающие на частотах верхнего края ДВ диапазона, как правило, испытывают влияние ионосферы даже в дневное время, вследствие чего средняя напряженность поля несколько повышается и возможно приобретает зависимость от солнечной активности. Отметим, что все результаты, полученные для длинных волн, относятся к условиям континентального климата средних широт.

Таблица 7

| Трасса измерений, источник | Частота, кГц | Длина трассы, км | Средний размах, дБ | Период измерений, годы |
|----------------------------|--------------|------------------|--------------------|------------------------|
| Московская область | 153,0 | 95,6 | 2,65 | 1997 - 2004 |

| | | | | |
|-----------------------|-------|--------|-------|-------------|
| Минск – Москва | 171,0 | 614,0 | 5,38 | 1997 - 2004 |
| Краснодар – Москва | 171,0 | 1220,0 | 5,85 | 2001 - 2004 |
| Калининград – Москва | 171,0 | 972,0 | 6,58 | 2002 - 2004 |
| Московская область | 198,0 | 89,3 | 3,57 | 1997 - 2004 |
| Киев - Москва | 207,0 | 749,0 | 8,24 | 1997 - 2004 |
| С.-Петербург - Москва | 234,0 | 560,0 | 13,97 | 1997 - 1999 |
| Казань - Москва | 252,0 | 755,0 | 16,11 | 2003 - 2004 |
| Московская область | 261,0 | 95,6 | 4,33 | 1997 - 2004 |
| Минск – Москва | 279,0 | 614,0 | 19,23 | 1997 - 2004 |
| Новосибирск | 171 | 135 | ≈3 | 1990 |
| Киев – Москва | 207,0 | 749,0 | 6 | 1966 – 1967 |
| Новосибирск - Томск | 272 | 250 | ≈10 | 1988 – 1989 |
| Свердловская обл. | 281 | 100 | 5 | 1988 – 1989 |

Средний размах на ДВ трассах (земная волна), дБ.

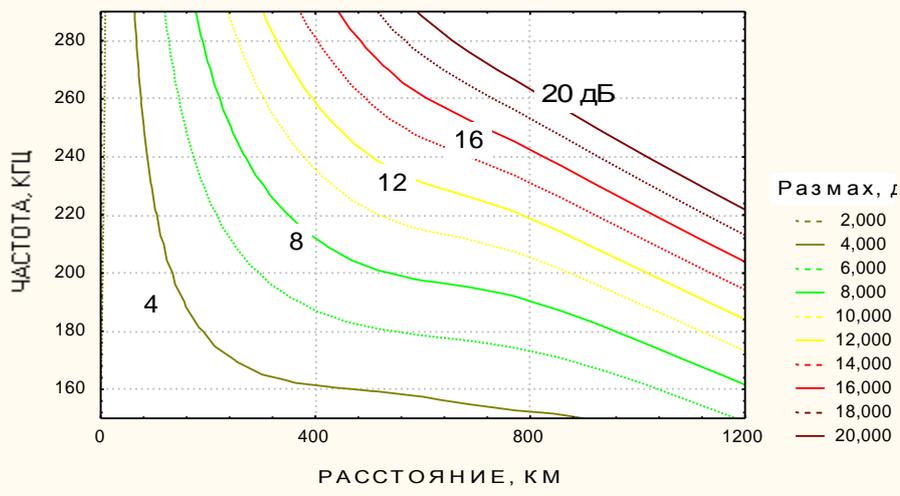
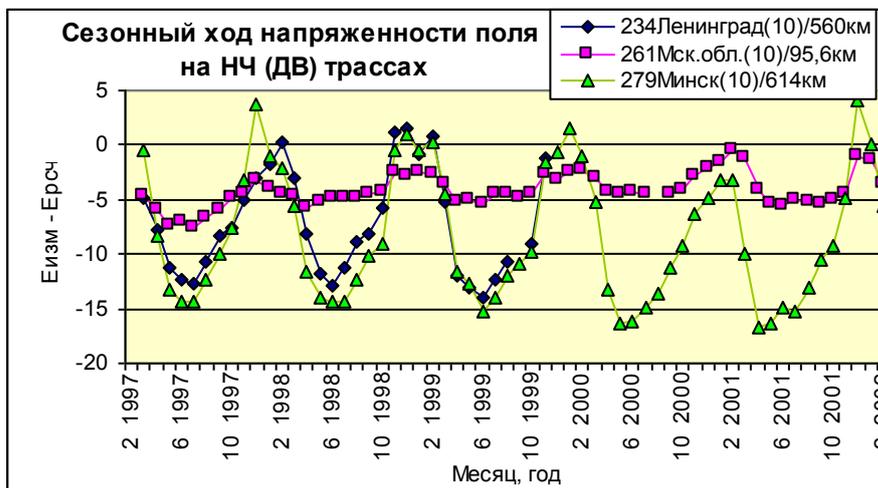


Рис.30

Из приведенных данных видно, что на трассах относительно коротких, на которых напряженность поля велика и определяет размеры полезной зоны, в ДВ диапазоне размах составляет примерно 3 – 6 дБ. На рис.31 приведены экспериментальные примеры (фрагменты) сезонного хода разности между среднемесячными измеренными и расчетными величинами напряженности поля на трех различных трассах на близких частотах. Расчет проведен для проводимости почвы 10 мСм/м. Протяженности трасс примерно 90 и 500-600 км. Из этих рисунков видно, что на дальности больше 500 км размах может достигать величины выше 15 дБ.

Рис. 31.



При увеличении протяженности трассы напряженность поля постепенно снижается, следуя кривым затухания Рек. Р.368-10, но с некоторого расстояния, величина которого зависит от частоты, снижение замедляется. Уровень сигнала становится выше, чем должно быть для земной волны, начинается зона заметного присутствия ионосферной волны, доля которой с дальнейшим увеличением расстояния возрастает. Размах при этом также непрерывно увеличивается, но физические причины, вызывающие сезонные изменения, в зоне ионосферного контроля должны быть уже другими.

Граница начала влияния ионосферной волны зависит от частоты и проводимости почвы. Приблизительно ее положение может быть оценено следующим путем. Из рис.30 видно, что изменения размаха с частотой значительно более резкое, чем при изменении расстояния. Поэтому в качестве независимого аргумента для определения характерных изменений в величине размаха и напряженности поля в качестве первого шага возможно принять произведение расстояния на корень квадратный из частоты, $q = Rf^{1/2}$, где R – расстояние в км, f – частота в МГц. Имеющиеся данные измерений в ДВ диапазоне на большом числе радиолиний, протяженностью до 2200 км, представлены в зависимости от параметра q на рис. 32. В таблице 8 приведены характеристики дополнительных трасс, на которых заметно влияет ионосфера, не включенных в табл. 7.

Таблица 8

| Трасса измерений | Частота, кГц | Длина трассы, км | Средний размах, дБ | Период измерений, годы |
|-------------------|--------------|------------------|--------------------|------------------------|
| Турция – Москва | 162 | 1690 | 14,1 | 2002 – 2004 |
| Германия - Москва | 177 | 1680 | 16,08 | 2001 – 2004 |
| Турция – Москва | 180 | 1700 | 16,75 | 2000 – 2004 |
| Польша – Москва | 225 | 1213 | 20,36 | 1999 – 2004 |
| Турция – Москва | 225 | 2050 | 20,85 | 2002 – 2004 |
| Турция – Москва | 243 | 1796 | 19,13 | 2003 – 2004 |
| Дания - Москва | 243 | 1615 | 24,5 | 2003 – 2004 |

На рисунке 31, построенном по данным табл. 7 и 8, приведены данные по среднему размаху и средние за все годы измерений максимальные за зимний период и минимальные за летний период среднемесячные значения разности между измеренной и расчетной напряженностью поля. В расчетах, проведенных по Рек. Р.368-7, проводимость принята 10 мСм/м.

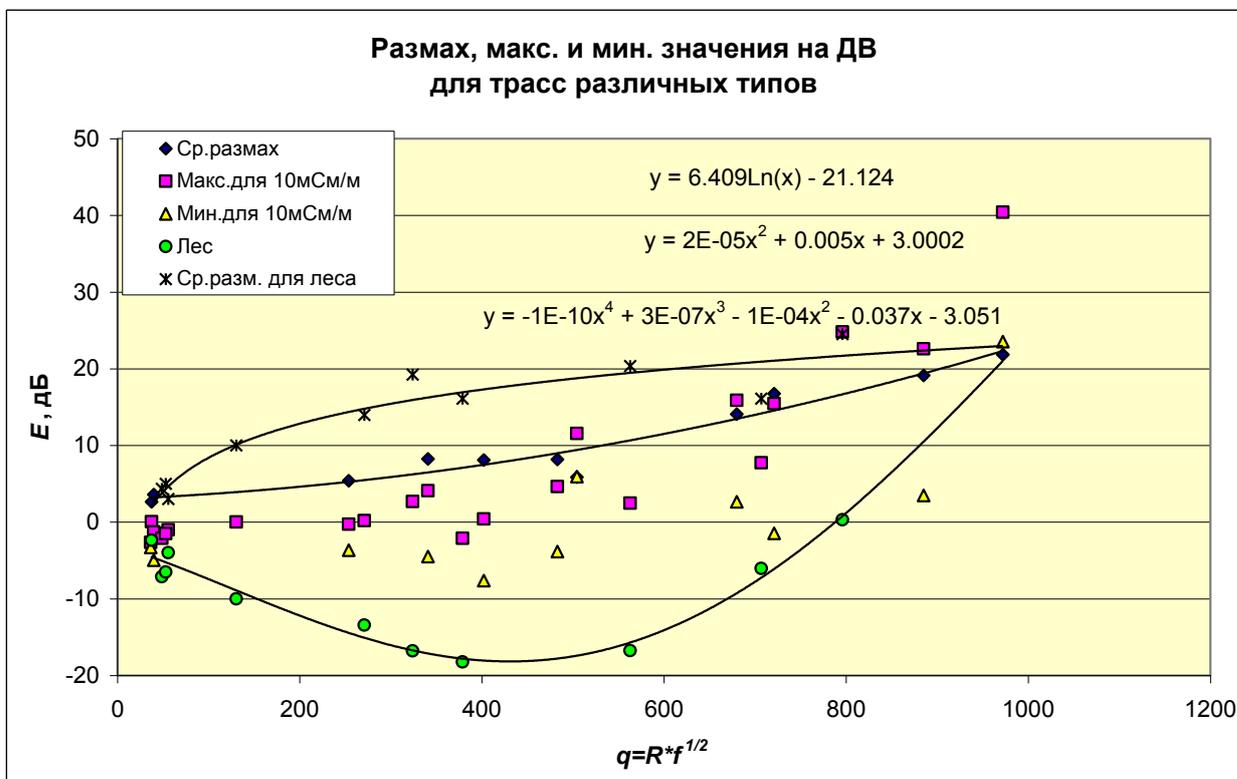


Рис. 32

Измерения проводились на трассах как с большой долей лесных массивов (Минск, Варшава, С.-Петербург, Казань, Сибирские трассы), так и с малой долей лесов, преимущественно южного направления. Результаты зимних измерений для всех трасс (квадраты на рис. 32) образуют достаточно компактную полосу. Результаты летних измерений разделились на две группы. Группа малолесистых трасс (треугольники) на большом интервале значений q испытывают сравнительно небольшое поглощение по сравнению с расчетным (примерно до 5 дБ). Трассы с большой долей лесов (кружочки), протяженностью примерно до 1200 км, и на которых еще не проявляется влияние ионосферы в силу превалирования поля земной волны, образуют группу со значительно большими потерями, до 15-18 дБ. Такое разделение результатов говорит о значительной роли лесов в сезонных изменениях на трассах без участия ионосферы. Характер поведения данных для лесных трасс на рис. 32 обнаруживает тенденцию к сближению с результатами для малолесистых трасс, начиная с q , равного примерно 500.

Удобство выбора независимого параметра q заключается главным образом в том, что он помогает увидеть область перехода от земной волны к пространственной. В данном случае на рисунке видно, что минимум напряженности поля, как на лесистых, так и на малолесистых трассах приходится на диапазон q , равный 400...500. Это означает, что, например, при частоте 171 кГц область перехода от земной волны к пространственной лежит в интервале приблизительно

$$R = q / f^{1/2} = (300 \dots 600) / 0,171^{1/2} = 726 \dots 1453 \text{ км.}$$

Из рисунка также видно, что напряженность поля вначале падает с расстоянием по сравнению с расчетным значением для всех рассмотренных трасс, затем, когда пространственная волна начинает превышать земную, поле начинает ускоренно расти.

Две экспериментальные зависимости для размаха с учетом только малолесистых $U_{м/л}$ (ромбики на рис. 32) и только лесистых трасс $U_{л}$ (крестики на рис. 32), дБ, имеют следующий вид (показаны на рис. 32) :

$$U_{м/л} = 3 + 2 \cdot 10^{-5} q^2 - 0.005q, \text{ дБ},$$

$$U_{л} = 6.409 \text{Ln}(q) - 21.124, \text{ дБ},$$

где $q = Rf^{1/2}$, R – расстояние, км, f – частота, МГц.

Таким образом, сезонные изменения, как на расстояниях действия земной волны, так и на больших расстояниях в зоне контроля ионосферной волны, обнаруживают схожее поведение (зимой поле выше) с плавным переходом от одного вида к другому с монотонным увеличением величины размаха. На больших расстояниях как для земной волны, так и для ионосферной волны величины размаха могут достигать 15 – 20 дБ.

9.2.3.2. Изменения от года к году среднемесячных значений за конкретные месяцы.

На рис. 33 (каждодневные данные) и рис. 34 (средние за месяц) приведены примеры реальной картины сезонных изменений для восточной Европы за период 1999 – 2011 гг

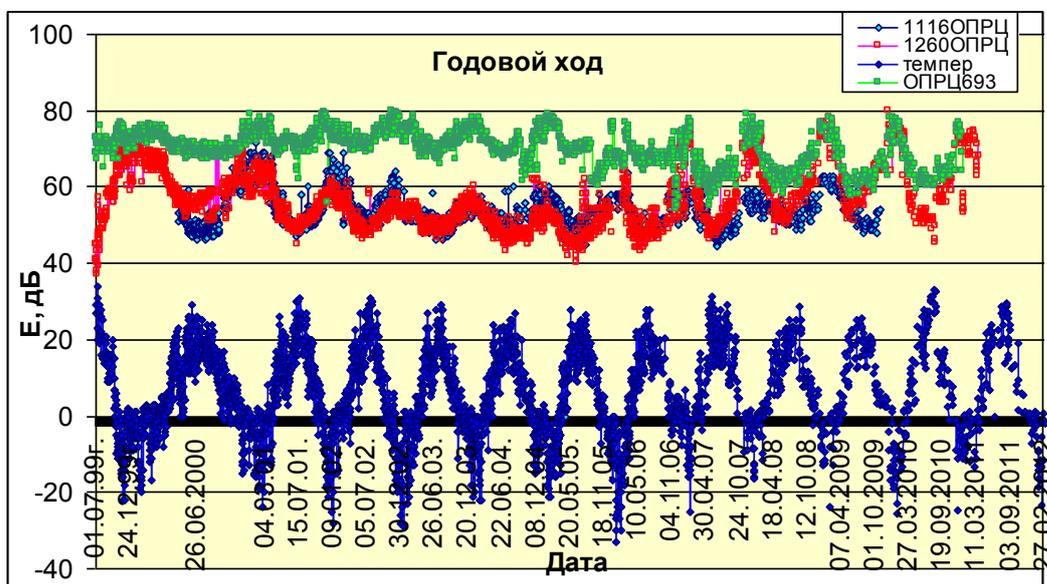


Рис. 33

Для практики планирования требуется более подробное описание помесечных изменений напряженности поля, чем в среднем за сезон.

Некоторые примеры сезонных изменений на средних волнах для центральной Европы даны на рис. 29.

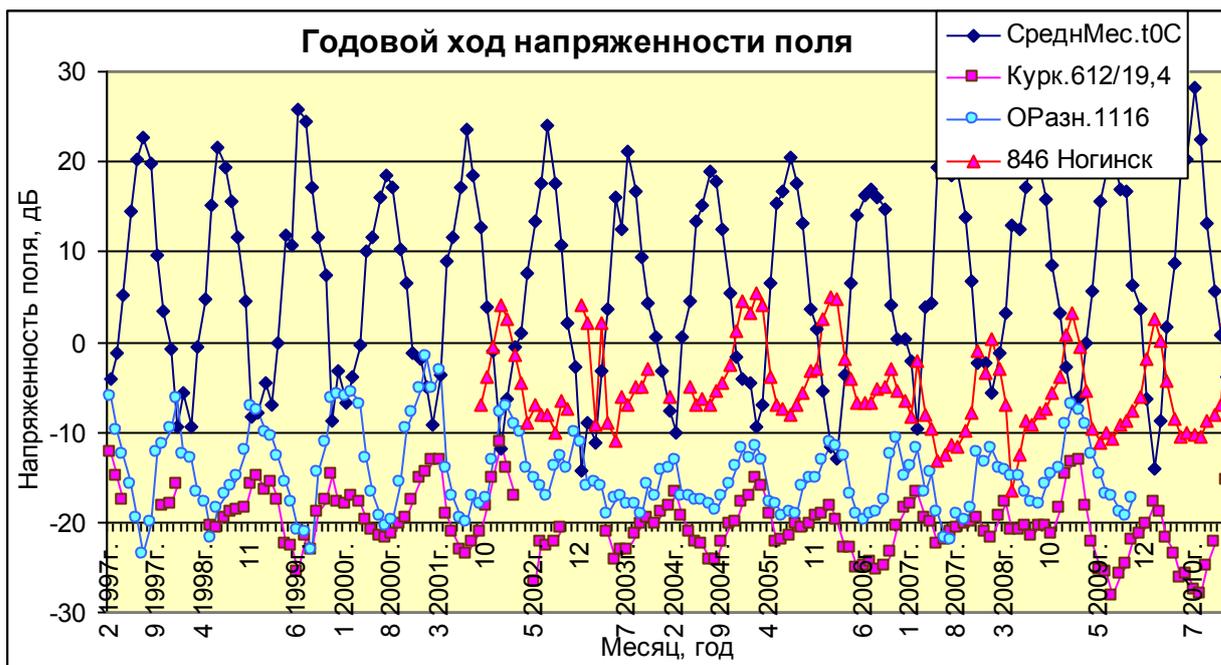


Рис. 34

В приведенных рисунках обращает на себя внимание, что годовые изменения уровня сигнала не повторяются. Каждый год индивидуален, поэтому если ориентироваться на некоторую прогнозную годовую функцию, то она будет сопровождаться случайными отклонениями.

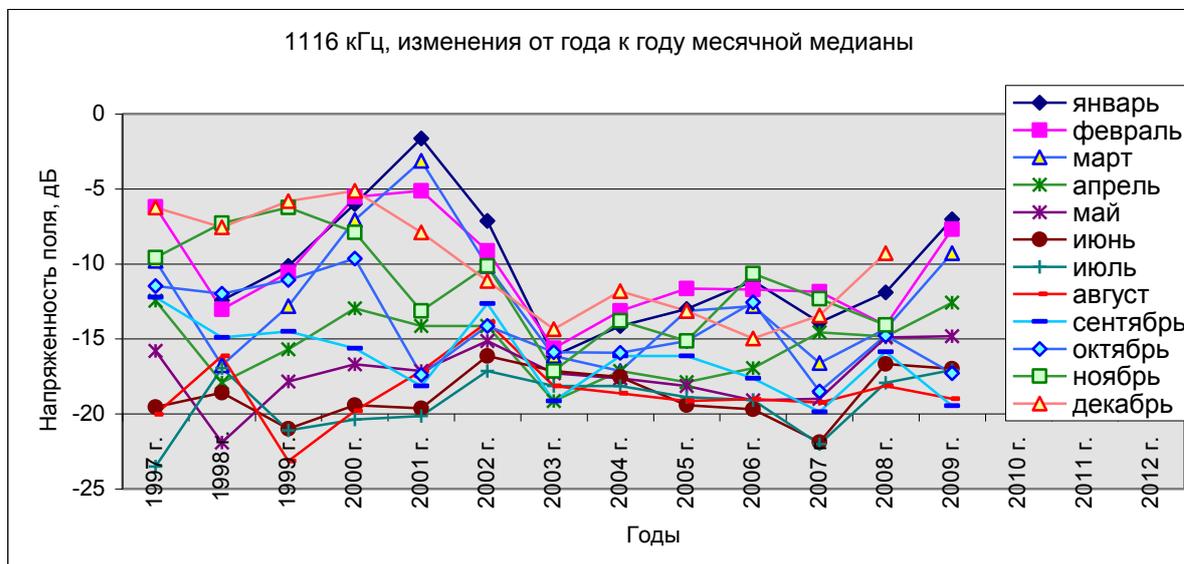


Рис. 35

Из рис. 35 и 36 можно видеть, что ни один год не похож на другой. Велики различия между минимальными и максимальными значениями. В частности, сезонный размах 2000-2001 годов превышал 15 дБ, в то время как в 2003 году составил всего 5 дБ. В целом по СВ диапазону (частоты от 549

кГц до 1440 кГц) стандартное отклонение, усредненное по годам и частотам, изменяется **в зависимости от месяца в среднем от 2,7 дБ (летом) до 4,3 дБ (зимой)**, как показано на рис. 37. Для длинных волн сезонные явления выражены слабее, и среднее СКО от многолетнего среднего составляет, примерно, 2 дБ. Усредненные для каждой частоты по всем годам СКО, как это показано в таблице 9, имеют частотную зависимость, показанную на рис. 38.

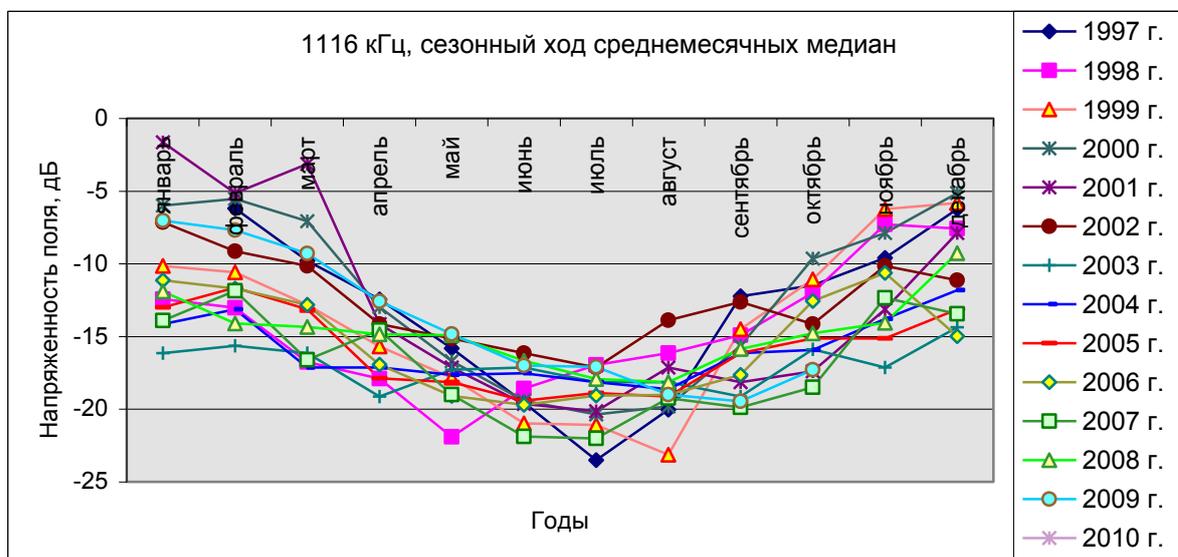


Рис. 36

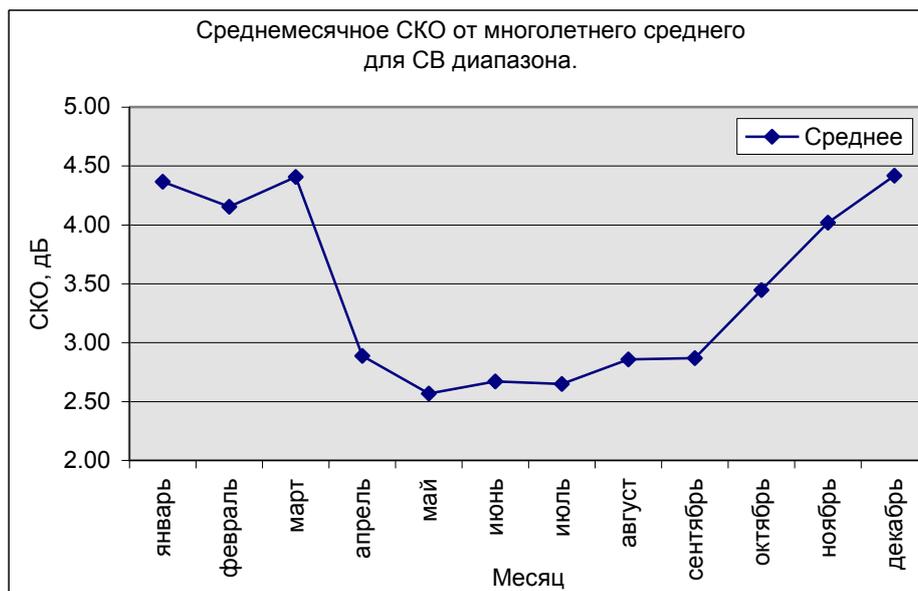


Рис. 37

Таблица 9

| ГОД | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | Сред | СКО |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|------|
| 279 кГц | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| январь | | 10.97 | 11.52 | 13.51 | 8.70 | 12.14 | 13.85 | 18.29 | 11.26 | 14.70 | 6.91 | 11.13 | 12.95 | 14.82 | 12.2 | 9.09 | 12.14 | 2.79 |
| февраль | | 9.81 | 12.33 | 11.00 | 8.70 | 6.45 | 13.77 | 18.33 | 14.70 | 14.40 | 14.20 | 7.07 | 6.53 | 12.50 | 9.7 | 10.01 | 11.30 | 3.43 |
| март | 11.58 | 6.49 | 7.45 | 6.78 | 2.00 | 1.77 | 9.98 | 9.73 | 15.70 | 9.90 | 0.61 | 2.20 | 5.99 | 4.24 | 5.45 | 4.29 | 6.51 | 4.10 |
| апрель | 3.66 | 0.46 | 0.40 | -1.30 | -4.80 | -5.66 | 2.16 | 0.94 | 1.70 | -1.72 | -2.76 | -4.24 | -0.73 | -5.30 | -4.3 | -3.22 | -1.54 | 2.91 |
| май | -1.30 | -2.05 | -0.73 | -4.40 | -4.30 | -4.25 | -7.67 | -4.30 | -4.80 | -5.82 | -7.34 | -3.72 | -4.41 | -8.80 | -7.30 | -6.91 | -4.88 | 2.32 |
| июнь | -2.37 | -2.30 | -3.17 | -4.22 | -2.80 | -5.28 | -6.84 | -5.43 | -3.96 | -6.43 | -7.03 | -5.86 | -5.30 | -8.61 | -9.30 | -5.51 | -5.27 | 2.09 |
| июль | -2.35 | -2.30 | -2.01 | -2.93 | -3.30 | -3.68 | -5.86 | -4.66 | -4.30 | -5.69 | -5.22 | -4.90 | -4.36 | -9.02 | -7.80 | -4.17 | -4.53 | 1.93 |
| август | -0.41 | -0.41 | 0.01 | -1.59 | -1.13 | -2.45 | -3.43 | -2.69 | -3.30 | -4.50 | -5.19 | -1.20 | -2.98 | -6.51 | -7.30 | -2.05 | -2.82 | 2.16 |
| сентябрь | 2.03 | 1.84 | 1.14 | 0.70 | 1.50 | -1.24 | 0.66 | -0.33 | -1.30 | -1.72 | -2.50 | 0.01 | -1.72 | -4.13 | -4.3 | 0.70 | -0.54 | 1.98 |
| октябрь | 4.38 | 2.86 | 2.23 | 2.70 | 2.70 | 1.01 | 4.23 | 1.33 | 2.20 | 2.37 | 1.56 | 0.83 | 0.65 | -1.73 | -1.80 | 1.90 | 1.71 | 1.72 |
| ноябрь | 8.81 | 11.49 | 10.37 | 5.70 | 7.18 | 8.55 | 9.42 | 7.58 | 5.20 | 7.61 | 8.40 | 4.31 | 3.41 | 0.87 | 2.20 | 1.20 | 6.39 | 3.26 |
| декабрь | 15.64 | 13.02 | 11.33 | 7.20 | 16.01 | 17.10 | 15.12 | 10.60 | 13.20 | 2.34 | 9.08 | 10.61 | 10.42 | 10.70 | 8.20 | 12.43 | 11.44 | 3.75 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | Среднее СКО | 2.70 |

9.2.3.3. Изменения ото дня ко дню.

Внутри каждого месяца часовой уровень день ото дня меняется, образуя случайный процесс. Эти изменения были замечены, так же как и сезонные, в начале прошлого века. В России измерения в 90-х годах также показали непостоянство уровней сигнала как от месяца к месяцу, так и ото дня ко дню [30]. Сравнительно недавно некоторые их статистические характеристики были оценены количественно и отражены в документах МСЭ-R (Док. 3L/9, 2012). СКО каждодневных изменений на длинных волнах сравнительно невелики, заметно зависят от протяженности трассы, они показаны на рис. 39 и могут быть описаны формулой

$$\sigma_d = 0,073 d^{0,5} + 0,00122 d, \text{ дБ.}$$

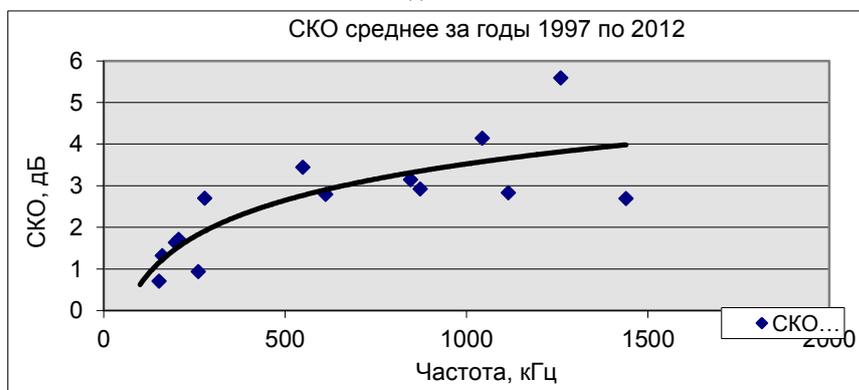


Рис. 38

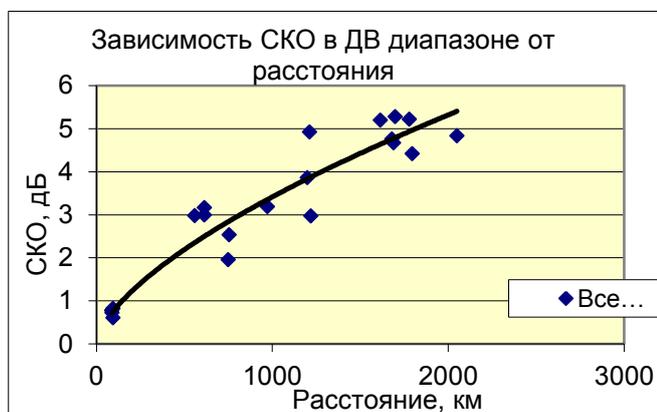


Рис. 39

На средних волнах в пределах расстояний до 120 км выявлена только зависимость от частоты. Результаты показаны на рис. 40.

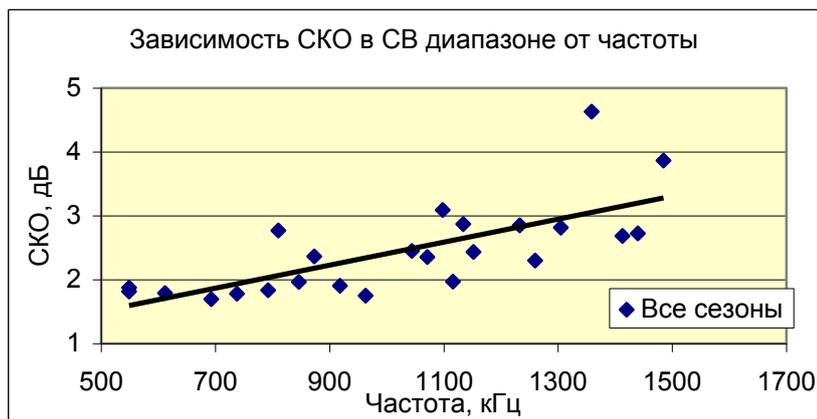


Рис. 40

На низкочастотном краю СВ диапазона СКО не превышают 2 дБ, достигая на верхних частотах величин 3-4 дБ. Формула аппроксимирующей кривой СКО для средних волн имеет вид:

$$\sigma_c = 0,0018f + 0,6, \text{ дБ.}$$

В формулах σ_d , σ_c – СКО в дБ, d – расстояние в км, f – частота в кГц.

Измерения СКО на средних частотах показали наличие сезонных различий, но они в среднем не превышают 2 дБ. В ДВ диапазоне они менее заметны.

9.2.4. Случайные изменения уровня сигнала от места к месту.

В Рек. МСЭ-R P.1321 содержатся данные о стандартных отклонениях напряженности поля от места к месту, с дистанцией сотни метров и единиц километров относительно базовой площади размером несколько километров. Это же относится и к случайным отклонениям от усредненной кривой изменения напряженности поля при удалении от передатчика. Данные, имеющиеся в Рекомендации для СВ, приведены на рис. 41. Распределение, типичное для этого параметра, логнормальное. СКО, полученное для различных трасс, как частично с лесным покровом, так и степных, составляет 3,7 дБ. На длинных волнах измерения СКО, полученные в восточном Подмосковье на частотах 153, 198 и 261 кГц, дали величину 2 дБ. Для трасс среднеширотных, преимущественно покрытых лесами, величина разбросов на СВ может быть другая. Для изучения статистики в лесных массивах были проведены специальные исследования. Измерения проводились на двух типах поверхностей: холмистая, вблизи Дмитрова, Волоколамска, и ровная, в ближнем Подмосковье. Измерения в холмистой местности позволили оценить стандартные отклонения от места к месту в лесной холмистой местности с масштабом разноса до 1-3 км. Такая местность типична для многих холмистых районов Европейской части России. Измерения в

Подмосковье позволили оценить величину стандартных отклонений в лесистой ровной местности на малых расстояниях территориального разнеса, а также приближенно оценить изменение уровня сигнала при выходе из лесного массива.

Результаты измерений, проведенных под Дмитровом и Волоколамском показаны на рис. 42, 43. Измерения стандартных отклонений на нескольких холмистых территориях, каждая размером 2-3 км, показали, что их величина значительно превосходит СКО, полученные на ровных пространствах, что видно из рис. 42. Среднее СКО по всем холмистым участкам и всем частотам составило **4,3 дБ**, в то время как для ровных поверхностей внутри лесного массива в ближнем Подмосковье размером примерно 2 км этот параметр в среднем по частотам СВ равен **1,9 дБ**.



Рис. 41

Влияние леса сказывается на напряженности поля не только при заглоблении в лесной массив при близком расположении передатчика к началу леса. В данном случае прием проводился либо в лесу недалеко от опушки в различных местах, либо при выходе из леса в сторону удаления от передатчика. Удаление передатчиков составляло 20-120 км, лес занимал трассу отдельными фрагментами. При удалении от леса напряженность поля возрастала. Измерения проводились в лесу и при выходе на расстоянии примерно 600 м и 1500 м от края лесного массива. Из рис. 43 можно видеть, что при удалении от леса на 600 м уровень сигнала возрастает на 2-4 дБ (кроме самой высокой частоты), а при удалении на 1500 м это увеличение сигнала на разных частотах достигает 3-8 дБ.

9.2.5. Использование данных о сезонных и случайных изменениях уровня сигнала в расчетах характеристик радиотрасс.

Для целей планирования наличие лесных массивов и пересеченной местности создает дополнительные особенности, которые могут быть сведены к следующему.

1. Наличие лесных массивов на трассе земного сигнала вызывает дополнительное поглощение, участвующее наряду с возможными другими факторами в создании сезонного размаха. Величина дополнительного поглощения в летнее время может колебаться от 2 дБ до 20 дБ, как показано на рис. 32, и следует из связанных с ним формул.

2. Конфигурация трассы может влиять на уровень сигнала в месте приема, и при заглублении в лесной массив вблизи от передатчика летом сигнал может деградировать быстро, примерно 10 дБ на 60 км или 0,6 дБ/км.

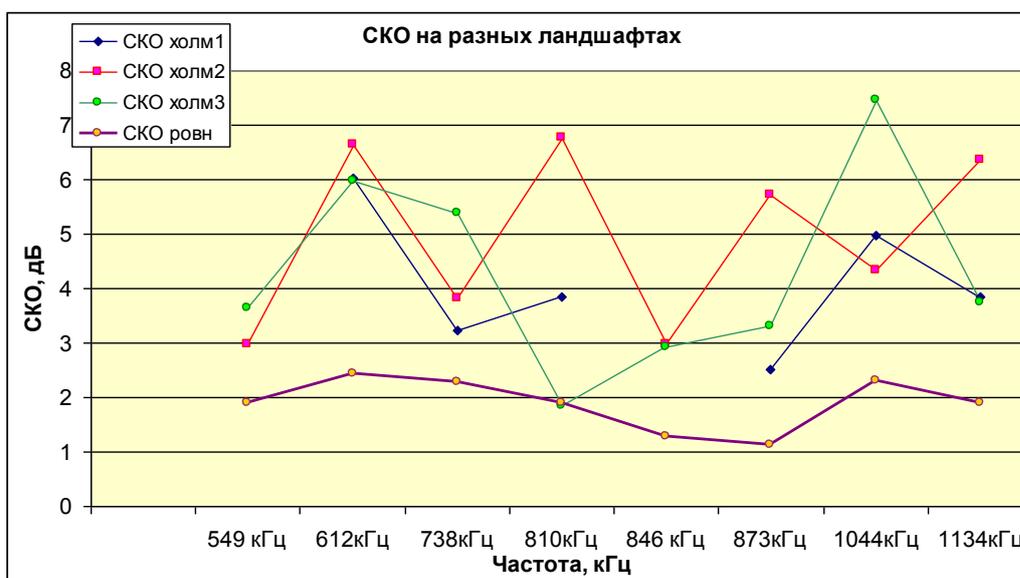


Рис.42

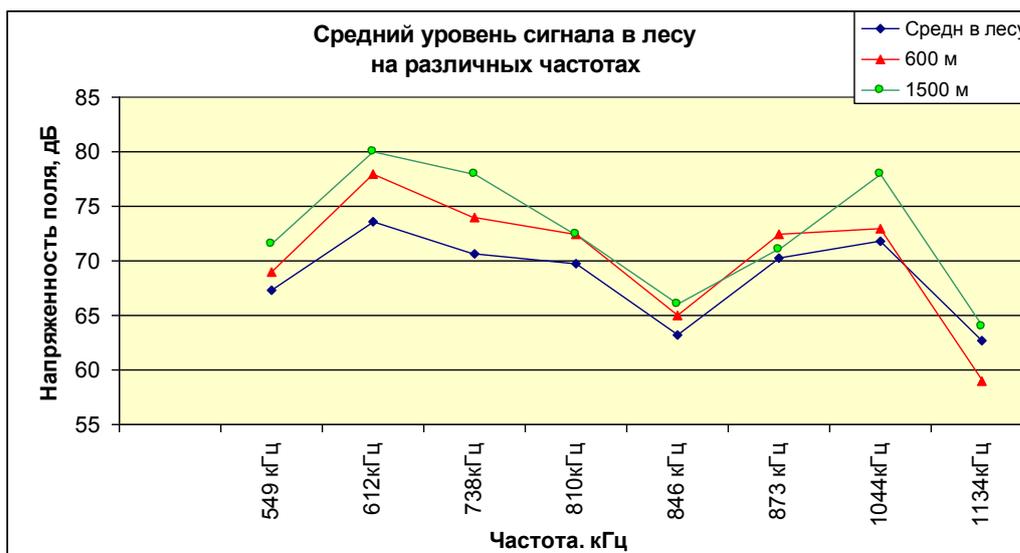


Рис. 43

(по швейцарским данным), или, в случае приема сигнала в конце лесного массива при входе в массив или выходе из него уровень сигнала на средних волнах при отдалении от леса будет нарастать примерно как 3-8 дБ на 1,5 км, или 2-5 дБ/км по отношению к уровню сигнала непосредственно внутри лесного массива.

3. Статистическое сопровождение сезонных вариаций имеет три вида. Первый, это неповторимость самих сезонных вариаций от года к году, имеющее свое значение СКО для каждого месяца, как показывает зависимость на рис. 37. Второй, это изменения от дня ко дню для средних волн, которые зависят от частоты, как показано на рис. 38. Третий, это изменения от дня ко дню для длинных волн, зависящих от протяженности трасс, как показано на рис. 38.

4. Статистическое распределение местностных отклонений уровня сигнала от расчетной медианы для данной трассы. Этот параметр имеет два вида. Первый, это изменения на больших территориальных масштабах, в пределах многих километров, имеет логнормальное распределение, как показано на рис. 41, и СКО 3,7 дБ. Второй, это изменения в пределах небольших локальных участков, в пределах 1-3 км на территориях с лесным покровом на ровной или пересеченной (холмистой) местности. Эти дополнительные статистические отклонения для средних волн имеют СКО от 2 дБ для ровной местности до 5 дБ на пересеченной, что видно из рис. 42, 43.

Таким образом, анализ приведенных экспериментальных результатов показывает, что в целях повышения точности планирования могут быть предложены уточнения или дополнения по двум основным направлениям.

Первое, это уточнение оценки медианной величины уровня сигнала, включающее учет влияния лесного покрова, слабо пересеченной местности и одиночных горных препятствий. Наличие лесного покрова проявляется в основном в сезонных вариациях напряженности поля.

Второе, это учет повсеместно присутствующей случайной компоненты сигнала, величина которой в зависимости от структуры трассы может иметь суммарную величину СКО до 5-7 дБ. Эти дополнения случайной компоненты показаны в таблице 10. Общая напряженность поля в месте приема сложится из следующих составляющих.

- Передатчик с фидерным трактом;
- Антенна;
- Канал распространения.

Таблица 10

| Объект | Пояснения | СКО, дБ | СКО, дБ суммарное |
|--|--|---------|-------------------|
| Передатчик с фидерным трактом | | 0.5 | 0.5 |
| Антенна, КПД | | 0.5 | 0.7 |
| Неравномерность диаграммы направленности | | 2.43 | 2.53 |
| Канал распространения | Случайная компонента сезонных изменений ДВ | 1.3 | 2.84 |
| | Сезонные изменения СВ | 2.5 | 3.56 |
| | Изменения от дня ко дню ДВ до 1000 км | 3.5 | 4.5 |
| | Изменения от дня ко дню СВ до 1600 км ц | 4 | 5.35 |

| Место приема | | |
|---|-----|------|
| От места к месту, ровная поверхность, средняя доля леса, ДВ | 2 | |
| А. От места к месту на больших масштабах, ровная поверхность, средняя доля леса, СВ | 3.7 | 3.7 |
| Б. Прием в лесу, СВ, от места к месту внутри п.А | 1.9 | 4.16 |
| Холмистый рельеф с лесным покровом, СВ | 4.3 | |

9.2.6. Прогнозирование.

Прогнозирование напряженности поля с учетом сезонных изменений приобретает другое содержание, нежели просто расчет по Рекомендации Р.368. Сейчас, когда вполне определилось постоянное наличие значительных изменений уровня сигнала, как систематических, так и случайных, от прогнозирования требуется учет и этих обстоятельств. Анализ многолетних изменений напряженности поля подсказывает, что в качестве первого шага можно описать систематический ход сезонных изменений косинусной функцией. Например, на рис. 44 показана зависимость уровня сигнала от времени на частоте 162 кГц (Уфа, 1200 км) и аппроксимирующая ее простейшая функция. Среднеквадратичное отклонение измеренных величин от прогноза (среднеквадратичная ошибка прогноза) для всех месячных значений составляет 2,1 дБ при полном размахе прогноза 9 дБ. Однако более важным показателем является стандартное отклонение лучшего и худшего месяцев от прогнозной величины (показатели худшего месяца – принятый параметр в МСЭ-R для характеристики работы радиоканала). Для данной линии СКО для лучшего месяца составляет 1,49 дБ, для худшего – 0,8 дБ. Из двух названных параметров более важным является худший месяц. Относительная ошибка прогноза (относительно размаха) составляет $0,8/9 = 0,089$, или 9%. Это относится к длинным волнам.

Пример для средних волн показан на рис. 45. На частоте 549 кГц (Чкаловская, 63 км) на интервале продолжительностью 13 лет относительная ошибка прогноза (относительно размаха) для худшего месяца при размахе 15 дБ составила 1,83 дБ. Относительная ошибка прогноза (относительно размаха) для худшего месяца на средневолновой трассе составляет $1,83/15 = 0,122$, или 12%. Это несколько выше, чем на длинных волнах, что объясняется менее стабильным поведением уровня сигнала на средних волнах.

Наиболее сложным моментом для прогнозирования параметров долгосрочных вариаций является определение основного входного параметра – размаха уровня сигнала на заданной трассе. Здесь необходимо опираться на статистику экспериментальных данных.

Для прогноза на период нескольких дней можно воспользоваться корреляционными связями между уровнем сигнала и температурой окружающей среды, что подробно освещено в [31].

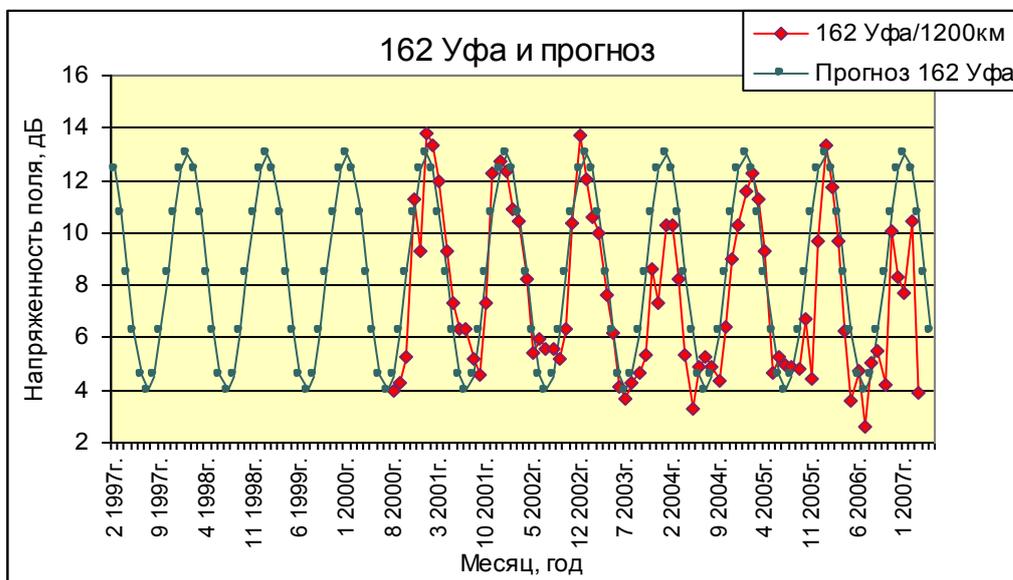


Рис. 44. Сравнение измеренных значений уровня сигнала на ДВ с прогнозом.

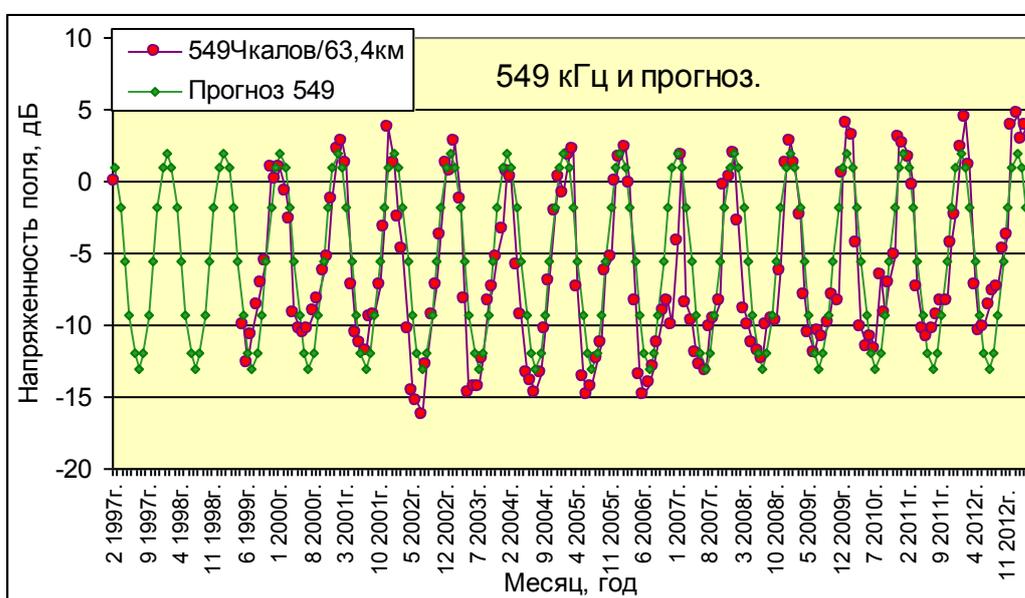


Рис. 45. Сравнение измеренных значений уровня сигнала на СВ с прогнозом.

10. Статистические характеристики технических параметров канала

10.1. Защитные отношения по совмещенному каналу.

Защитные отношения в радиовещании имеют широкий диапазон в зависимости от характера передач, вида системы, требований к качеству т.д. Рассмотрим две группы: для аналоговых систем и для цифровых.

10.1.1. Аналоговая система.

Для планирования вещания с аналоговой системой в диапазонах ДВ и СВ имеются стандарты МСЭ-R. В первую очередь, чтобы рассчитать зону покрытия, кроме частоты и мощности надо знать защитные отношения. Для планирования в МСЭ-R приняты следующие стандарты, изложенные в Финальных Актах GE75 [32].

Качество вещания считается хорошим, если отношение сигнала к атмосферному шуму по высокой частоте (ВЧ) составляет 40 дБ. По низкой частоте это соответствует 30 дБ (при модуляции 30%). Далеко не во всех случаях может быть известен уровень шума. Поэтому было принято, что при неизвестном уровне шума для 1-го Района достаточно принять напряженность поля полезного сигнала 60 дБ по отношению к 1 мкВ/м на частоте 1000 кГц. Учитывая, что средний уровень шума имеет частотную зависимость, к величине 60 дБ была добавлена поправочная кривая, уточняющая требуемую напряженность поля на других частотах, от 150 до 1600 кГц.

При помехах от других станций было принято, что такое же качество вещания достигается при отношении сигнала к помехе по высокой частоте 30 дБ, и по низкой частоте это отношение будет также 30 дБ. Более поздние обсуждения этого вопроса на ВАКР ВЧРВ в 1984, 87 гг. [21] на основе материалов от различных Администраций позволили получить обобщенную кривую защитных отношений для АМ сигналов по отношению к шуму и помехам от других станций, показанные на рис. 46 (средняя кривая). Такие кривые позволяют оценить качество вещания при произвольных отношениях полезного и мешающего сигналов.

Вместе с тем решения МСЭ предусматривают и меньшие значения минимальной величины напряженности поля. Наряду с принятым в 1975 г. для хорошего качества приема сигнала поверхностной волны и стабильной помехе защитным отношением 30 дБ при ионосферной помехе с замираниями достаточно 27 дБ. На Конференции по радиовещанию для 2-го Региона (1981г., Рио де Жанейро) для поверхностной волны и стабильной помехе принято 26 дБ. Минимальное значение напряженности поля для средних широт в дневное время принято значение 100 мкВ/м и для тропической зоны 250-500 мкВ/м, то есть 40 и 54 дБ вместо более высокого по Женевскому плану GE75. Такое разнообразие допустимых величин защитных отношений или минимальных значений напряженности поля является следствием плавной зависимости качества приема от величины отношения сигнал/ помеха.

Из кривой МККР на рис. 46 видно, что ухудшению качества приема на один балл соответствует снижение отношения сигнал/помеха примерно на 10-11 дБ, что равносильно снижению мощности в 10-13 раз. На этой ВАКР было принято, что для удовлетворительного приема информационных программ достаточно величины защитного отношения по высокой частоте 17 дБ. На рис. 46 кроме кривой МККР показаны четыре другие кривые, относящиеся порознь к художественному и к информационному вещанию [33]. Как можно видеть, требования при аналоговой системе к различным видам вещания значительно отличаются друг от друга. Для планирования с аналоговой системой основными величинами для защитных отношений в совмещенном канале являются 30 дБ и для ухудшенного качества, считающимся достаточным для информационного вещания, значение 17 дБ.

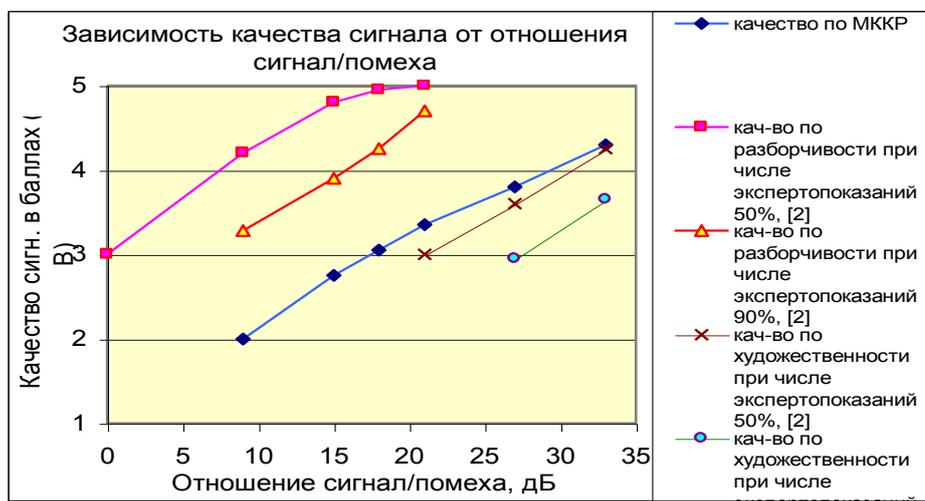


Рис. 46

10.1.2. Цифровая система.

Для планирования введения цифровых передатчиков в существующую аналоговую сеть МСЭ-R предложил правила и величины защитных отношений и минимальных значений напряженности поля (Рек. BS.1615). Система DRM предусматривает большое число режимов работы, которые подробно рассмотрены выше в п.3, подраздел **Рекомендованные характеристики**. Это по лабораторным данным. В реальных каналах ситуация другая. На рис. 47 представлены данные из Интернета (http://www.drm.org/?page_id=151) о надежности приема станций с DRM в разных странах на средних волнах в 2007-2009 годах. Прием в реальных условиях с требующейся надежностью 98% за весь представленный объем прослушиваний наблюдается при отношениях сигнал-помеха не ниже 21-22 дБ. Пример поступающих результатов прослушиваний приведен в Приложении. О приемном оборудовании сообщается редко. Можно ожидать, что оно или профессиональное, или близкое к нему.

Этот параметр, как и другие, также статистичен. Высокая надежность, как видно из рисунка, может наблюдаться при отношении сигнал-помеха, начиная с 12 дБ, но случаи с низкой надежностью имеются и при отношении сигнал-помеха 22 дБ. Это явление переходной зоны, ширина которой в СВ диапазоне составила 10 дБ, наблюдается на всех видах службы радиовещания, и еще более ярко выражено в диапазоне коротких волн. Для планирования целесообразно ориентироваться на величину, не меньшую, чем 22 дБ. Учитывая, что это величина пограничная, желательно иметь минимальный запас, и практически применять 24 дБ.

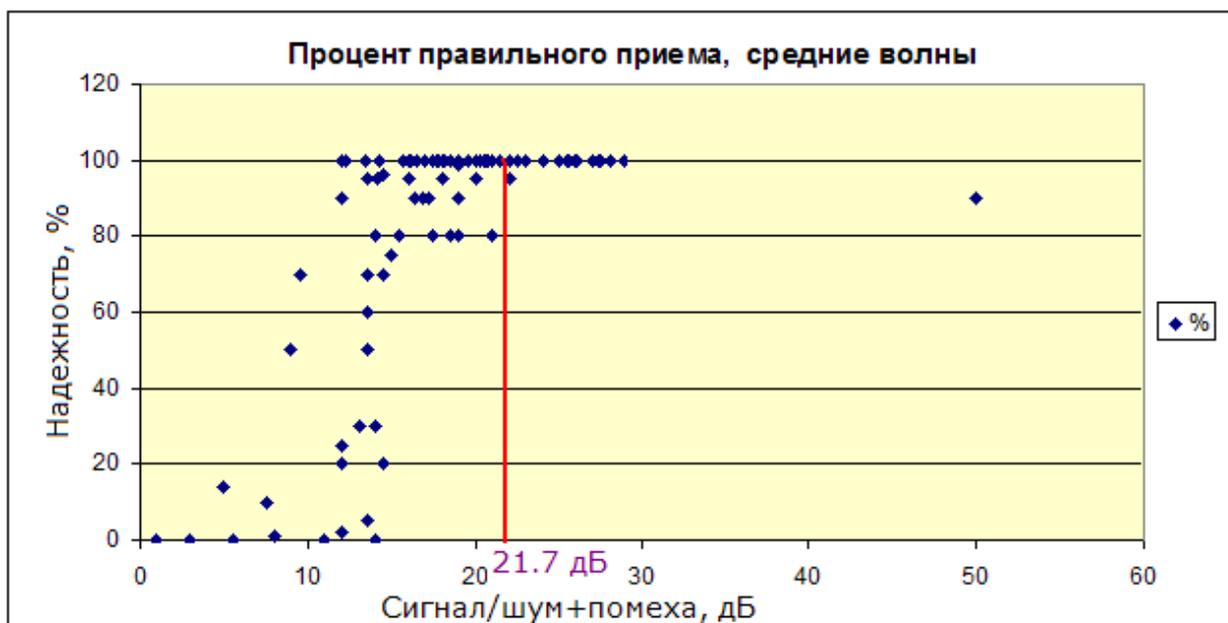


Рис. 47

10.2. Защитные отношения по соседнему каналу.

10.2.1. Аналоговая система.

В Финальных Актах GE75 приведены величины защитных отношений по соседнему каналу, установлена шкала значений от 9 дБ до 0 дБ. Но фактически это отношение зависит от многих факторов. Различается 4 случая.

- А. 9 дБ, когда малая степень компрессии передачи при ширине звукового сигнала 10 кГц,
- В. 7 дБ, когда высокая степень компрессии, на 10 и более дБ выше, чем в случае А, при ширине звукового сигнала 10 кГц,
- С. 5 дБ, когда ограниченная степень компрессии при ширине звукового сигнала 4,5 кГц,
- Д. 0 дБ, когда высокая степень компрессии при ширине звукового сигнала 4,5 кГц.

Однако прием радиовещания происходит при неизвестных заранее параметрах мешающего сигналов, и влияние мешающего сигнала может быть случайным, при котором уместным будет любое значение от 0 до 9 дБ с некоторой вероятностью. Практика показывает, что в настоящее время чаще всего реализуется зауженная полоса излучения при компрессированном сигнале, что соответствует случаю С. Но экспертизы заявок и соответствующие расчеты проводятся при наиболее жестких условиях, соответствующих случаю А. Таким образом, все возможные варианты распределений охватывают диапазон изменений защитных отношений от 0 до 9 дБ со средним значением в районе 5 дБ.

Для определенности представляя распределение симметричным со средним значением 4,5 дБ, что незначительно отличается от случая С, можем иметь выбор между тремя простейшими формами распределений,

приближенно решающих поставленную задачу. Этими распределениями могут быть: равномерное, треугольное и нормальное (гаусса), показанные на рис. 48. Не претендуя на высокую точность, и учитывая, что спектр модулирующих частот имеет спадающую форму, в начале спада близкую к прямой линии, то реальное распределение, скорее всего, имеет вид, близкий к треугольному с $\sigma = 1,84$ дБ или более широкому, так что величину стандартного отклонения в качестве первого шага можно принять равной 2 дБ.

Другие распределения имеют СКО 2,6 дБ (прямоугольное) и 1,48 дБ (нормальное). Реальное распределение будет отличаться от любого из трех рассмотренных, но его СКО будет находиться между 1,5 и 2,5 дБ. Возможная ошибка при неточном выборе распределения, скорее всего, не превысит 0,5 дБ.

10.2.2. Цифровая система.

В Рекомендации BS.1615 содержатся таблицы относительных защитных отношений для цифровой системы от аналоговых и цифровых сигналов. В частности, в соседних каналах, отстоящих от центральной частоты цифрового сигнала на ± 10 кГц, защищенность должна быть не ниже 30 дБ. Это лабораторные данные. Практика показывает, что относительные защитные отношения от аналоговых сигналов значительно ниже (по соседнему каналу ± 10 кГц по крайней мере на 20 дБ). Наиболее вероятно это объясняется большим уровнем внеполосных излучений аналоговых сигналов, далеко выходящих за границы своей маски. Для принятия практической величины относительных защитных отношений данных пока еще недостаточно.

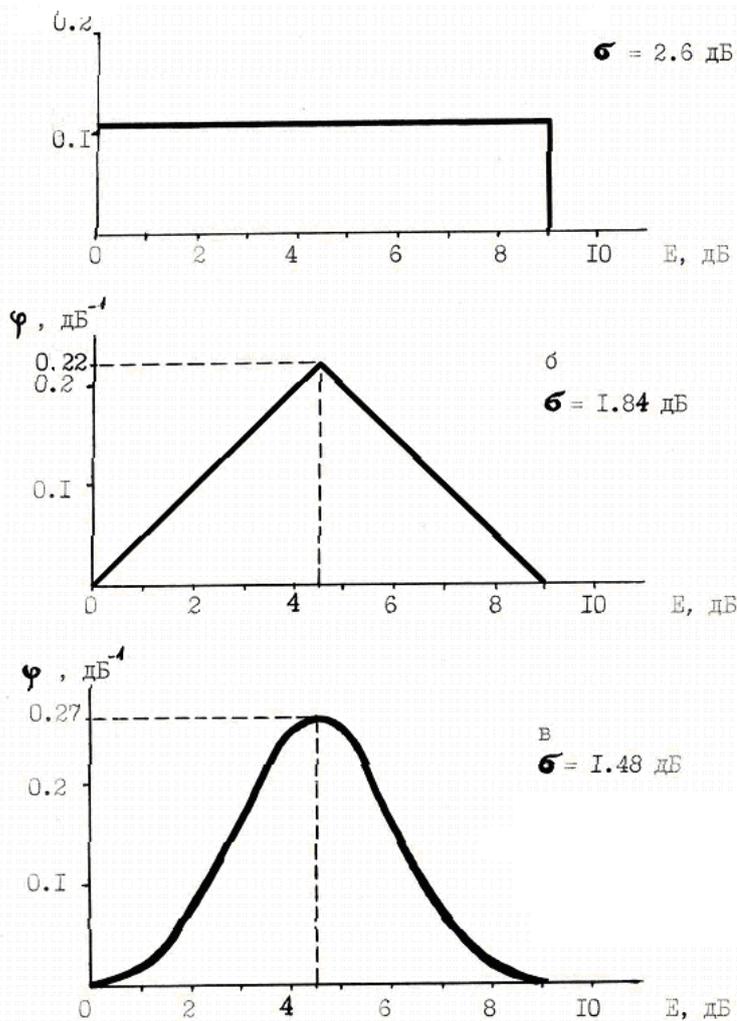
10.3. Статистическая оценка характеристик мешающих сигналов.

10.3.1. Мешающие сигналы по земному каналу.

Мешающий сигнал земной волны имеет те же свойства, что и полезный сигнал. Однако, при его влиянии на полезный сигнал необходимо учитывать корреляцию между двумя сигналами, приходящими в одну точку. Корреляция замираний во времени ото дня ко дню составляет примерно 0,6 (подробнее см. [31]). Относительно корреляции от места к месту в общей точке приема достоверных данных пока нет.

10.3.2. Мешающие сигналы по ионосферному каналу.

Ионосферные сигналы имеют быстрые и медленные замирания. По этому вопросу существует обширная литература.



Различные типы распределения напряженности поля

- а - прямоугольное распределение,
- б - треугольное распределение,
- в - нормальное распределение.

Рис. 48

Достаточно полно характеристики замираний для ночного времени суток представлены в [34]. Распределения амплитуд при быстрых (внутричасовых) замираниях принято считать релейевскими, для медленных (от дня ко дню) – логнормальными. В документах МСЭ-R нет данных о зависимостях СКО от протяженности трассы при ионосферном распространении ДВ и СВ в темное время суток. Зависимость от частоты в Рек. Р.1147-4 представлена схематично (для двух полос: ДВ и СВ). В частности, разность $\Delta(w)$ между значением напряженности поля, превышенным в течение $w\%$, и годовым медианным значением, определяется для диапазона НЧ: $\Delta(10) = 6,5$ дБ и $\Delta(1) = 11,5$ дБ; для диапазона СЧ: $\Delta(10) = 0,2 |\Phi| - 2$ дБ и $\Delta(1) = 0,2 |\Phi| + 3$ дБ. Здесь Φ – географическая широта. Для СЧ $\Delta(10)$ больше или равно 6 дБ, но меньше или равно 10 дБ; для 1% $\Delta(1)$ больше или равно 11 дБ, но меньше

или равно 15 дБ. Для СЧ, как видно, поправка зависит от широтного расположения трассы. Из приведенных выше цифр получим, что для НЧ $\sigma = 5$ дБ, для СЧ трасс в средних широтах для $\Phi=55^\circ$ $\sigma \approx 6,5$ дБ, для Сибири (60°) $\sigma \approx 7,2$ дБ. В качестве одной средней величины приходим, примерно, к 7 дБ. Учитывая, что внутрисезонные замирания имеют $\sigma = 6$ дБ, то **общее СКО** составит для **длинных волн** $\sigma_{дв} = 7,8$ дБ, для **средних волн** $\sigma_{св} = 9,2$ дБ.

11. Концепция худшего месяца.

Концепция худшего месяца (Рек. Р.581-2, Р.841-4) – это принятый подход в различных Рекомендациях МСЭ-R, где оценивается работа систем связи, работающих в условиях с заметно выраженными сезонными изменениями. Основным постулатом Концепции является утверждение, что рассчитывать долговременную (многолетнюю) работу системы, выбирать необходимую мощность, обеспечивать необходимые параметры работы системы, в том числе и надежность, необходимо исходя из условий худшего месяца. Иначе в годовом цикле функционирования системы неизбежно будут продолжительные провалы работы. В системах радиовещания до 30 МГц до настоящего времени этот подход не практиковался, однако при использовании цифровых систем он, скорее всего, станет обязательным.

12. Таблица новых параметров планирования.

Результаты статистического рассмотрения факторов, влияющих на работу цифровых систем вещания, приводят к необходимости расширения таблицы параметров планирования. Расширенная таблица имеет большее число новых элементов, и практически каждый из них сопровождается данными о среднеквадратичных отклонениях от средней величины, как для параметров, изменяющихся во времени, так и изменяющихся по территории. В новой таблице дается краткое описание параметров. К параметрам, таким же, как и имеющимся в таблице действующих параметров, относятся пояснения из действующей таблицы. К предлагаемой таблице следует относиться как к проекту, таблица еще может претерпеть изменения. Новый комплект параметров представлен в таблице 11.

Таблица 11.

| N | Наименование параметра | Усл. Обозначения | Единиц.и змер. параметр а | Определение параметра | Средняя величина параметра | Стандартное отклонение |
|---|---|------------------|---------------------------|---|---|---|
| | | | | | | обозначение, величина, единицы измерений |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | Мощность передатчика | P | кВт или дБ | Мощность несущей в отсутствии модуляции | Задается при планировании как паспортная величина | $\sigma_P = 0,5$ дБ, |
| | Отклонение от номинальной мощности, подводимой к антенне после фидера | | | | | |
| 2 | Усиление антенны по окружности | G | дБ | Усиление по отношению к короткому | Задается при планировании как расчетное | $\sigma_G = 2.43$ дБ, диапазон 0.7...5.5 дБ |

| | | | | | | |
|----|--|-----------|-------|--|---|---|
| | | | | несимметричному вибратору. | среднее значение | |
| 3 | Излучаемая мощность | $P_{изл}$ | дБ | За излучаемую мощность принимается произведение номинальной мощности передатчика и коэффициента усиления антенны (относительно короткой вертикальной антенны) без учета потерь. Эффективная монополярная излучаемая мощность, ЭМИМ в кВт (или дБ относительно 1кВт). | Величина, равная сумме в децибелах мощности передатчика и усиления антенны. | $\sigma_{\delta, \text{дБ}} = (\sigma_P^2 + \sigma_G^2)^{0,5}$, дБ |
| 4 | Проводимость почвы. | σ | мСм/м | - | 1-20, зависит от географического района (было принято 3- для всей территории бывшего СССР), | $\sigma_\sigma = 1...2$ мСм/м, |
| 5 | Минимальная величина напряженности поля (минимальная используемая напряженность поля). | $E_{мин}$ | дБ | Минимальная величина напряженности поля, необходимая для превышения природных шумов (с учетом защитных отношений) на частоте 1 МГц. | 54 для зоны А | Не определено, зависит от защитных отношений |
| 6 | Номинальная используемая напряженность поля. | $E_{ном}$ | дБ | Полагается, что с учетом разного рода помех напряженность поля в зоне обслуживания не должна быть ниже этой величины. | В зоне А: 1 - для СВ Земная волна в дневное время - 60, в ночное время для сельской местности - 71, в городе - 77. Маломощные каналы - 88 2 - для ДВ. Для всех условий - 77 | Не определено, зависит от защитных отношений |
| 7 | Используемая напряженность поля. | $E_{и}$ | дБ | Необходимая напряженность поля с учетом работы мешающих передатчиков. | Рассчитывается по формуле | Не определено, зависит от защитных отношений |
| 8 | Защитные отношения по совмещенному каналу. | A | дБ | Величина отношения полезного сигнала к мешающему по высокой частоте, которая обеспечивает при определенных условиях на выходе приемника требуемое защитное отношение по низкой частоте. | Для данных вида работы и характеристики модуляции величина постоянная. Зависит от требуемого качества приема, | Для аналога 3 дБ, для цифрового сигнала имеется интервал неопределенности ≈ 10 дБ |
| 9 | Защитные отношения по соседнему каналу. | $A_{с/к}$ | дБ | Величина отношения полезного сигнала к мешающему в соседнем канале по высокой частоте, обеспечивающее при определенных условиях на выходе приемника требуемое защитное отношение по низкой частоте. | 0...5, | $\sigma_{с/к} = 1.84$ дБ. |
| 10 | Защитные отношения по совмещенному каналу для синхронных сетей. | $A_{с/с}$ | дБ | То же, что и в строке 7. | 0...4, | $\sigma_{с.с} = 1,5$ дБ. |
| 11 | Напряженность | E | дБ | Напряженность | Рассчитывается | $\sigma_E = 3...6$ дБ, |

| | | | | | | |
|----|---|------------|-----|--|--|--|
| | поля земной волны полезного сигнала | | | поля земной волны, создаваемая полезным передатчиком на заданном расстоянии. | по методике МККР, Рекомендация 368, | |
| 12 | Напряженность поля от мешающих станций по земной волне. | $E_{пз}$ | дБ | Напряженность поля соседних и удаленных мешающих станций только за счет распространения волн земным лучом. | Рассчитывается так же, как в строке 11. | $\sigma_{Еп} = 3...6$ дБ, |
| 13 | Напряженность поля от мешающих станций по ионосферной волне. | $E_{пи}$ | дБ | Напряженность поля мешающих станций только за счет ионосферного распространения волн. | Рассчитывается по методике МККР, Рекомендация 435. | $\sigma_{Епи} = 7,8$ дБ для СВ изменения от ночи к ночи. Рассчитывается по Рекомендации Р.1147-2. |
| 14 | Напряженность поля атмосферных помех (атмосферного шума). | $E_{ш}$ | дБ | Напряженность поля шумов, измеренная в контрольной полосе приемника. | Рассчитывается по методике МСЭ-R, Рек. Р.372-8. | $\sigma_{ш}, 2...10$ дБ, рассчитывается по методи-ке МСЭ-R, Рек. Р.372-8. |
| 15 | Местное распределение | - | - | Распределение напряженности поля в зоне приема от места к месту. | Рассчитывается по логнормальному закону как вероятность того, что в некоторой точке приема величина напряженности поля будет не ниже заданной. | $\sigma_L = 3,7$ дБ для больших масштабов и 2 дБ для малых, исключая места с городской застройкой. |
| 16 | Ширина полосы мешающего аналогового сигнала по высокой частоте. | Δf | кГц | - | 9 | Не определено |

Из таблицы можно видеть, что параметрам приспаны конкретные значения СКО, однако реально они могут отличаться на некоторую величину. Поэтому где было возможно, добавлен диапазон изменения СКО.

13. Состояние внедрения в мире системы DRM и причины его замедления.

13.1. Почему так медленно. В начале Отчета процитирован абзац из Док. BS.6A/407 «...уместно в очередной раз обсудить, почему у администраций наблюдается противоречивый интерес или противоречивый спрос у слушателей в отношении полного перехода к цифровому звуковому радиовещанию...». Ниже приводятся возможные ответы на этот важный вопрос.

13.1.1. Нет ясности с перспективой.

Путь постепенного вращаия DRM в социальную и информационную среду путем последовательных проб видится достаточно долгим. Поскольку соответствующая конференция не планируется, и обязательного глобального перехода, как в телевидении, не предписано, то внедрение DRM пущено на самотек. При этом администрация связи в каждой стране сама решает, что ей больше подходит.

Неясная перспектива развития мировой сети вещания с привнесением в нее цифровой системы как единого целого (все станции связаны взаимными помехами) является, на наш взгляд, **одной из причин пробуксовки** и служит

одним из мотивов, объясняющих нерешительность вещателей вкладывать средства в новую систему. В СЕРТе, как можно было убедиться, предельно ясно понимают тяжесть задачи с внедрением DRM в существующую мировую сеть, и вряд ли сейчас можно лучше, чем это сделано ими, сформулировать суть стоящих проблем. Рабочая группа, подготовившая рассмотренные документы (см. п.5, подпункт *Взгляд на планирование и на изменение Плана Женева-75*), описала в них причины медленного развития событий и по существу предсказала пробуксовку.

13.1.2. Психология сравнения

Вторая причина пробуксовки, как нам кажется, лежит в психологии сравнения. Мы невольно все время что-то с чем-то сравниваем. Так и в мире радиовещательных систем. Где вещание удачливее, где больше слушателей, почему? Одновременно с DRM началось развитие цифрового вещания в метровом и более высокочастотных диапазонах и цифрового телевидения. Технические условия планирования названных систем выявляют отличия, свидетельствующие в пользу УКВ систем и цифрового ТВ. К ним относятся:

-- Передатчики в сетях УКВ РВ и ЦТВ на порядок компактнее, легче по весу, проще устанавливаются, не требуют специальных мощных подводов электроэнергии, устройств охлаждения и многого другого. Это связано с ограниченным радиусом полезных зон, практически не превышающим расстояния прямой видимости (при высоко поднятых антеннах до 50-70 км).

-- Введение цифровых систем в названных сетях кроме повышения стабильности звукового или телевизионного сигнала позволяет многократно увеличить число передаваемых программ, что обеспечивает не только значительную экономическую выгоду, но и существенно расширяет сферу информационных и развлекательных услуг.

-- Передатчики этих сетей мобильны, не требуют высоких дорогих антенн, во многих случаях могут работать без постоянного присутствия персонала.

-- Сигналы на высоких частотах и на расстояниях прямой видимости практически не имеют замираний, кроме удаленных помех, поэтому вопрос о запасе мощности на замирания во времени остро не стоит.

-- Каждый передатчик на УКВ является самостоятельной единицей, ни от кого не зависящей (кроме приграничной полосы), не связанный с другими мировыми территориями. На больших расстояниях никому не мешает.

Одним из ключевых факторов, из-за которого в телевидении все безоговорочно перешли на цифру, это при большем числе каналов практическая независимость зоны хорошей работы сети от природных условий. Главный параметр – дальность радиогоризонта. За этой границей, как для аналогового сигнала, так и для цифрового, во всех странах возможность приема падает почти одинаково круто. Проверив на одной территории, и убедившись, что все работает, как ожидалось, можно переносить опыт и на другие страны.

Рядом с отмеченными преимуществами сетей УКВ-вещания и ТВ, сети с DRM на частотах ниже 30 МГц кажутся весьма непривлекательными. Ничего

из перечисленного выше у DRMa нет. Больше того, сегодня стандарт DRM требует модернизации, улучшающей его защитные и энергетические характеристики, как это сделано, в частности, в последней версии цифрового телевидения.

Коротко говоря, в диапазонах ДВ и СВ все совершенно не так. Есть страны, где весь год одинаково зеленый покров, почти постоянная температура, в дневное время стабильный уровень сигнала, - это Индия и страны того же пояса [35]. В таких условиях, однажды подобрав параметры сети, можно быть уверенным, сеть будет работать без сбоев. В других странах, преимущественно средних и высоких широт, положение значительно сложнее. Поведение аналогового сигнала и цифрового в изменяющихся природных условиях заметно отличаются один от другого. Не имея долговременного опыта работы с цифровой системой в сложных условиях, охватывающего все природные изменения, как сезонные, так и спонтанные, администрациям с большим числом мощных передатчиков трудно решиться на крупнозатратную модернизацию сети, не будучи убежденными, что это не будет убыточным. Еще более неясным является вопрос о работе цифровой сети в темное время суток при наличии взаимных помех по ионосферным каналам. Об этом, как отмечено в проанализированных документах, говорит и СЕПТ.

Такое сравнение систем наводит на подозрение, что работа вещания с DRM будет значительно менее эффективна, чем работа цифрового телевидения. Это, по-видимому, и является корнем второй причины пробуксовки.

13.1.3. Презентация

Третьей причиной пробуксовки может быть тестирование. Внедрение DRM предполагалось как спасительное средство для КВ диапазона. Во вторую очередь уже для СВ и ДВ. Легче всего можно переоборудовать КВ передатчики относительно небольшой мощности, до 100 кВт. Возможно, в силу этой причины мировое радиовещание начало пробовать цифру именно на коротких волнах. С самого начала в списках станций, начавших работать с DRM, подавляющее большинство было коротковолновых. Выбор коротких волн преследовал и другую цель. КВ вещание охватывает практически весь мир, и это давало возможность познакомиться с достоинствами новой системы за короткое время максимальное число слушателей и потенциальных вещателей. В сотни раз большее, чем в диапазонах СВ и ДВ.

Сейчас можно с большой уверенностью констатировать, что главная неосознанная ошибка (так уж случилось) состоит в том, что основной акцент демонстрации преимуществ цифры перед аналогом был сделан на коротких волнах. Этот диапазон обладает наиболее сложным и непредсказуемым поведением сигналов по сравнению с длинными и средними волнами. В этом диапазоне очень трудно получить высокую надежность работы канала. Ведь когда мы говорим радиовещание, и призываем слушателей или читателей поверить, что DRM принесет стабильное и надежное радиовещание, то под

этим молчаливо предполагается, что Вещание – это, как сказано было вначале, прежде всего, Расписание. Если по расписанию работа обеспечена быть не может, перерывы в приеме попадают то на новости, то на спорт и т. д., то это уже не вещание. Наиболее близка к такому неустойчивому состоянию работа ионосферных каналов, то есть именно в КВ диапазоне лежит зародыш неверия в систему DRM. Практика работы почти за 100 лет показывает, что в КВ диапазоне даже в наиболее спокойных средних широтах на большом периоде времени (например, сезоне) добиться надежности выше 80% чрезвычайно сложно. Только, если во время работы канала не будет помех от других станций или затухание на трассе не превысит допустимых значений. Ни то, ни другое не гарантировано. На широтах близких или превышающих 60° положение гораздо сложнее. Это подробно рассмотрено во многих публикациях. В этих условиях понятию работы по расписанию трудно придать практический смысл. Можно предположить, что часть слушателей передач на КВ, столкнувшись с непостоянством приема на коротких волнах, о чем свидетельствуют многочисленные сообщения в интернете (см., например, [6]), не поверила во всемогущество DRMa. Все это также может быть причиной медленного внедрения DRM. Если бы (в историческом плане это исправить невозможно) авторы DRMa предложили слушателем для знакомства с DRM передачи не на КВ, а, например, только на СВ, то активность вещателей и результат могли бы быть совсем другими.

13.1.4. Аналоговая система не стоит на месте.

Примерно 15 лет назад начались поиски способов экономии расходов на электроэнергию в аналоговом радиовещании. Одним из первых средств было предложено сократить уровень несущей, что навечно было активным изучением в предыдущие годы однополосного радиовещания. Родилась система динамического управления несущей, которая позволяет отслеживать управляющий сигнал и поддерживать уровень несущей не выше, чем это требуется для детектирования АМ сигнала без искажений. Возникающие при этом энергетические соотношения между системами двуполосной классической АМ, двуполосной АМ с управляемой несущей, однополосной АМ и DRM рассмотрены в [36], где показано, что, в частности, однополосная система занимает практически первое место. В 2001 г. были проведены экспериментальные изучения системы с динамическим управлением несущей на действующем передатчике мощностью 300 кВт на частоте 153 кГц [37], показавшие, что экономия мощности на уровне выходного каскада передатчика доходит до трех раз, а в целом по передатчику достигает примерно двух раз. В настоящее время многие передатчики перешли на этот экономичный режим, в Подмоскowie это коммерческие передатчики на частоте 612 кГц, 1134 кГц и другие. В Док. 6А/407, 2014 г.) в п. 2 Дополнения 1 отмечено, что «Передача стандарта DRM30 может быть сконфигурирована таким образом, чтобы повторить зону покрытия АМ, при требовании к средней мощности на 4-6 дБ ниже по сравнению с аналоговой передачей».

Если с рядом оговорок принять такую трактовку, то аналоговая система с управляемой несущей во многом решает эту проблему, сведя разницу до 1-3 дБ. Поэтому острота энергетического преимущества цифровой системы перед аналоговой на сегодня практически снята, о чем говорится в [13] (см. выше п. 5, цитата 1). Однако нельзя не обратить внимание на то, что в зарубежных тестах цифровой системы непременно подчеркивается сравнительное преимущество цифровой системы перед классической аналоговой системой. Но отмеченные успехи аналоговой системы не остались незамеченными радиовещателями, и заявленные ранее преимущества цифровой системы значительно потускнели. Это можно назвать **четвертой причиной пробуксовки**.

У DRMa ниже 30 МГц по сравнению с системами на УКВ есть, по крайней мере, одно **неоспоримое преимущество**. Это большая дальность действия; на КВ практически на весь мир, на ДВ и СВ – многие сотни километров. Но DRM, в основном, это мощная сеть, поэтому неоднократно можно было слышать альтернативный вариант, суть которого в желании заменить мощную и дорогую дальнобойную сеть спутниковыми системами или большим числом УКВ станций, охватывающими всю территорию страны. Но, по-видимому, по разным соображениям возможность передавать информацию на большие расстояния из своего собственного центра без переприема и без опасности нарушения канала по чужой воле, что свойственно только вещанию на частотах ниже 30 МГц, всегда будет востребована.

13.2. Состояние внедрения.

Выше (п. 5, подраздел *Взгляд на планирование и на изменение Плана Женева-75*), [13], сказано, что «...в среднем за 2-5 лет, когда ожидается значительное увеличение количества DRM передатчиков, будет необходимо провести практические измерения, чтобы подтвердить возможность совмещения...». Это было написано в 2007 г.

Однако **сегодня** реальный процесс еще выглядит несколько иначе. За прошедшие семь лет число работающих передатчиков, как и время вещания в эфире, вопреки прогнозам СЕРТ, не только не увеличилось, но существенно уменьшилось.

В Интернете (drm.org/broadcast/schedule) регулярно публикуются списки радиостанций, заявленных для работы в режиме DRM. Характерным показателем отношения радиовещательного сообщества к развитию цифрового направления в полосах ниже 30 МГц является суточный объем работы мировой сети DRM-станций.

На рис. 49 показан график изменения суммарного заявленного времени вещания с 2006 года по сегодняшний день. Из рисунка видно, что за

прошедшие годы суммарное время суточного вещания в мире снизилось в три раза. Последнее снижение произошло в 2014 году.

Общее число станций также упало, что видно из Таблицы 12. В частности, в активном 2008 году работало 44 станции, из них в диапазонах ДВ, СВ – 18 единиц, в КВ диапазоне – 26 станций, то есть ДВ и СВ станции занимали 41%. В 2012 году имеем всего 26 станций, в ДВ и СВ диапазонах 2 (7,7%), и в КВ диапазоне 24 станции, а всего станций в 1,69 раза меньше, чем в 2008 г. Наибольшее число задействованных средств и выходов в эфир приходится примерно на 2008-2009 гг.

В настоящее время в СВ диапазоне работают, как следует из расписаний drm.org/broadcast/schedule, два передатчика – на частотах 909 кГц – 0,1 кВт, Германия, и 1080 кГц – 25 кВт, Индия. Для мирового масштаба этого, конечно, недостаточно, и можно отметить, что «провести практические измерения, чтобы подтвердить возможность совмещения», при оставшихся двух маломощных СВ передатчиках становится проблематичным. Наиболее активными Администрациями в настоящее время (на 2013 год) являются: Россия – 14 выходов в эфир в сутки, Индия – 11 выходов, Новая Зеландия – 8 выходов, Австралия – 7 выходов, Румыния и Испания – по 6. Однако необходимо отметить, что число стран, работающих с DRM, не уменьшилось. Их всего 16, за время работы с 2006 г. некоторые прекратили работу, некоторые страны начали пробовать DRM.



Рис. 49

Таблица 12

| Ежегодные характеристики DRM-вещания по данным из Интернета за 2006-2013гг | | | | | | | | | | | |
|--|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Показатель | 2006г | 2007г | 2008г | 2009г | 2010г | 2011г | 2012.04 | 2012.10 | 2013.01 | 2014.09 | 2014.10 |
| Всего в сутки заявлено вещания в эфире, минут | 43491 | Интерполяция ≈ 40000 | 36586 | Интерполяция ≈ 36350 | 36225 | 25493 | 20666 | 16380 | 16286 | 14576 | 13256 |
| Число центров | 38 | | 44 | | | | | | 26 | | |
| Число выходов в эфир всего | 108 | | 122 | | | | | | 78 | | |
| Число центров ДСВ | 13 | | 18 | | | | | | 2 | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|----|--|-----|--|--|--|--|--|----|--|--|
| Число выходов эфир на КВ | в | 95 | | 102 | | | | | | 74 | | |
| Число выходов эфир, ДСВ | в | 21 | | 20 | | | | | | 4 | | |
| Число выходов эфир, РФ | в | 12 | | 12 | | | | | | 14 | | |
| Число центров РФ | | 1 | | 2 | | | | | | 5 | | |

Пример самостоятельного решения проблемы «внедрять или не внедрять» подает Администрация связи Индии. Страна расположена в регионе, который отнесен к тем, в которых «DRM жить хорошо» [35]. В январе 2013 г. в Индии в Нью-Дели проходила Конференция-выставка (19th edition of BES Expo 2013, Broadcast Engineering Society Expo). На ней было сообщено, что Индийская Администрация заказала для радиовещания 36 передатчиков с цифровой модуляцией, которые предположительно должны начать работать с декабря 2013 г. Предполагается также, что цифровая система будет использоваться в диапазонах FM, MW и SW на программах Всеиндийского Радио. Планируется осуществлять прием таких программ также и на мобильные телефоны. В работе принимала участие Председатель DRM Ruxandra Obreja. В интервью она сказала, что у Индии есть потенциал стать самым большим цифровым рынком радио.

Прием на мобильные телефоны, конечно, отличается от того, что называется радиовещанием, и по качеству и по назначению, но, безусловно, будет служить дальнейшему накоплению опыта работы с цифровыми вещательными системами. Несколько ранее сообщалось, что для Всеиндийского Радио был заказан СВ цифровой передатчик 1000 кВт. Важно, что его предполагается использовать в режиме simulcast, одновременно с АМ на частоте 1071 кГц и DRM на частоте 1080 кГц. Но вещание на таких двояких каналах с большой мощностью в рамках существующего Плана возможно в исключительных случаях или с много меньшими мощностями, не создающими помех уже работающим станциям. На момент 09.2014 этот передатчик для работы в списке DRM станций еще не заявлен (drm broadcast schedules).

Если АС Индии удастся осуществить намеченные планы с хорошими результатами, то это может явиться прорывным событием, которое возможно Завтра увлечет за собой другие страны этого региона.

14. Система одновременной работы в аналоговом и цифровом режимах (Simulcast).

Этому виду работ посвящены исследования, проведенные в Индии [8], Бразилии [9, 10] и других странах. Трудность оценки работы системы **Simulcast** заключается в том, что оценка работы цифрового канала происходит на основе подсчета принятых исправных фреймов, а оценка аналогового канала происходит почти всегда на эмоциональном уровне, нравится – не нравится. При таком подходе убедительные выводы получить

затруднительно. В целом авторы тестирования оценивают результаты работы как удовлетворительные.

15. DRM вещание на коротких волнах.

Публикаций на эту тему не так много. Одна из первых публикаций, это Док. МСЭ-R [38], 2004 г. Наиболее поздняя публикация – разрабатываемый Группой докладчиков МСЭ-R по изучению систем цифрового звукового радиовещания (Rapporteur Group on Studies of Digital Sound Broadcasting Systems) проект Отчёта МСЭ-R по вопросам внедрения систем наземного звукового и мультимедийного вещания [44, в)]

15.1. Виды деятельности. Видов в основном два, вне зависимости от системы КВ вещания. Организация национального вещания, в том числе и на собственные ограниченные по территории регионы, и работа на удаленные территории, что активно используется для иновещания. Еще обсуждается применение одночастотных сетей, но это пока еще первые опыты.

Региональное вещание. Неоднократно внимание отечественных специалистов обращалось к организации местного радиовещания с использованием антенн зенитного излучения. Считалось, еще при аналоге, что зону с радиусом до 600-700 км можно обеспечить передатчиком 15 кВт с антенной с усилением 8-10 дБ при создаваемой напряженности поля ночью на частоте 4 МГц и днем на частоте 7 МГц около 50 дБ. По разным причинам развитие такой сети не состоялось, но идея цифрового вещания резко оживила интерес к региональным сетям. В качестве справки отметим, что аналоговая работа на антенны зенитного излучения широко используется в странах низких широт для национального вещания (страны Африки, Индия и др.). Эта проблема хорошо разработана и имеет широкое освещение в международных документах. В средних и высоких широтах низкая ионизация ионосферы в темное время суток не позволяет создать сеть, удобную для населения. В связи с реальностью цифровизации были проведены экспериментальные изучения работы на зенитную антенну, как за рубежом, так и в России. Основной опасностью считалась многолучевость, но ожидалось, что предусмотренная в структуре сигнала защита с этой напастью справится. Энергетическая ориентировка была задана Рекомендацией МСЭ-R BS.1615, где в таблице 6 приводится величина требующейся на коротких волнах минимальной напряженности поля при модуляции 16QAM до 25 дБ(мкВ/м), при 64QAM – до 30 дБ.

В 2000-2002 гг. в центральном Таиланде и в Эквадоре были проведены тесты DRM на частотах тропического диапазона с AM передатчиком 250 кВт, переделанном для цифровой работы [38]. Прием проводился при двух удалениях от передатчика – на 20 и на 200 км. Авторы не указывают напряженность поля, но по расчету она должна находиться в пределах 50-60 дБ, считая, что цифровая мощность передатчика не больше 50 кВт.

Использовался профессиональный приемник AOR 7030 со штыревой антенной 1,1м.

Типичная форма многолучевого сигнала, показанная авторами, приведена на рис.50 [38]. Цифрами от 1 до 4 обозначены принимаемые сигналы с последовательно увеличенным числом отражений от ионосферы. Нижняя шкала – запаздывание в миллисекундах. Отражения значительного уровня в пределах интервала 5 мс приемник воспринимает как полезные. Все остальные с более длительным запаздыванием – воспринимаются как помехи. Эта картинка почти идеальная, в реальной работе много случаев более сложной структуры.

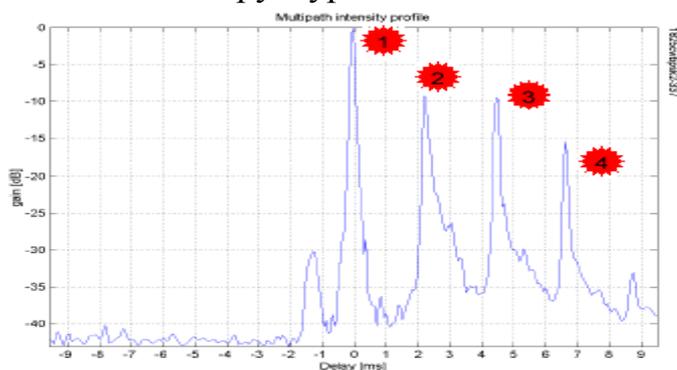


Рис. 50

В проведенных тестах было получено, что прием начинается с местных утренних часов, далее примерно 2 часа спокойного приема, затем начинаются сбои. Вечером прием несколько улучшается. В ранние утренние часы приема нет из-за низкого уровня сигнала. Сделан вывод, что защита от многолучевости недостаточна, так как она практически неустранима. Напряженность поля, как отмечают авторы, в определенные часы суток также недостаточна. Но ко всему можно добавить, что при такой мощности передатчика для зон до 200 км цифровое вещание определенно уступает по длительности работы и надежности аналоговому (этот вывод следует из работы [39]).

Опыты с зенитным излучением проводились в Индии [40]. В результате сделаны выводы, что этот вид вещания весьма интересен, но эффективность этого типа распространения определяется ионосферными условиями. Основная проблема, это задержки сигналов. В итоге качество сигналов оценено как недостаточно высокое.

Изучение применения DRM с антеннами зенитного излучения на протяжении нескольких лет (с 2008 г. и по сей день) проводилось в Краснодаре [41]. Результаты такие же, как и на Таиланде. Структура сигнала подобна приведенной на рис.50. Прием сигнала происходит со сбоями, причина та же, что и для Таиланда. Как один из основных выводов в [41] отмечено, что «Для уверенной работы на зенитную антенну требуется уровень сигнала не ниже 60 дБ», а также, что для работы системы требуется режим с исправлением более длительной многолучевости.

Ряд измерений проведен вблизи Москвы в 2008-2009гг. специалистами НИИ Радио. Передатчик мощностью 35-40 кВт в пос. Северный работал на

антенну зенитного излучения на частотах 3995 и 4005 кГц. Прием проводился во все часы суток на бытовой приемник «Орленок» на расстоянии примерно 100 км от передатчика. Напряженность поля измерялась компаратором с рамочной антенной. В целом результаты тестов в данных условиях показали невозможность проведения непрерывного вещания при напряженности поля ниже 65-70 дБ. В ряде случаев наблюдался прием программы при напряженности поля около 40 дБ на протяжении до 10 минут.

Наклонные трассы большой протяженности. Об измерениях на очень длинных трассах, более 8000 км, сообщается в [38]. Тесты на трассах с передачей из Канады (≈ 13000 км, цифровая мощность $P \approx 100$ кВт), Португалии (>8000 км, $P \approx 100$ кВт) и Германии (>8000 км, $P \approx 40$ кВт) на Мадагаскар, при использовании частот в полосах 21 МГц днем и 12 МГц ночью показали, что главная проблема не в доплеровских эффектах и не в запаздывающих сигналах, а в недостаточном уровне сигнала (по нашей оценке 35-40 дБ днем и до 45 дБ ночью). Причем подчеркивается, что существенные изменения в приеме могут происходить не только ото дня ко дню, но и поминутно. Фактом приема считалось правильное декодирование 90% фреймов (отметим, что в настоящее время для вещания принята величина 98%). При таких заниженных требованиях число принятых сеансов в сумме составило 38 из общего числа 58. Скорее всего, с реально возможными мощностями передатчиков регулярная работа на линиях такой протяженности с DRM не будет осуществима.

Линии средней протяженности, как трассы наиболее реальной категории для использования DRM, изучались достаточно детально в России. Большой объем наблюдений был получен в 2008-2009 гг. Вблизи Москвы контролировались станции Португалии и Германии. Измерялась напряженность поля (компаратором с рамочной антенной), так как это основной параметр, определяющий реальную возможность приема программы, и дающий возможность оценить необходимую мощность передатчика. Одновременно контролировались сбои приема. Основной вопрос, на который никак не удается получить ответ, – при каких условиях прием идет, и передачу можно назвать радиовещанием, при каких – не идет или идет плохо. От чего зависит положение границы между этими состояниями? Не проводя глубокого анализа свойств цифрового сигнала, прошедшего ионосферный канал, ниже будут рассмотрены основные особенности приема цифрового КВ вещания в бытовых условиях.

15.2. Переходная зона.

Пример трехлетнего наблюдения напряженности поля сигнала DRM на линии Англия (BBC) – Москва протяженностью 2800 км приведен на рис. 51а (с 11.2011 – по настоящее время). Работа проходила на частоте 3955 кГц в утренние часы, 09-11 МСК, ежедневно, в направлении 114 градусов. Мощность 250 кВт. Прием проводился в 40 км от Москвы, внутри одноэтажного деревянного здания в дачной местности на цифровой

приемник «Орленок» и компаратор FSM-11. На рис. 51б приведен аналогичный пример для испанской станции на частоте 9780 кГц.

На рисунке видны пробелы в измерениях, приходящиеся на летние месяцы (показаны не в масштабе), когда из-за большого поглощения в ионосфере в течение всего времени работы станция не прослушивается. В нижней части рисунка проставлены оценки качества по шкале, представленной ниже.

| Оценка | Характеристика |
|--------|--|
| 10 | – отлично, провалы отсутствуют |
| 8 | – за 10-20 с. 1 провал, длительностью \approx 1-2 с. |
| 6 | – провалы значительные, до 5-15 с. |
| 4 | –фрагменты, провалы более продолжительные |
| 2 | – вспышки или отсутствие декодирования |

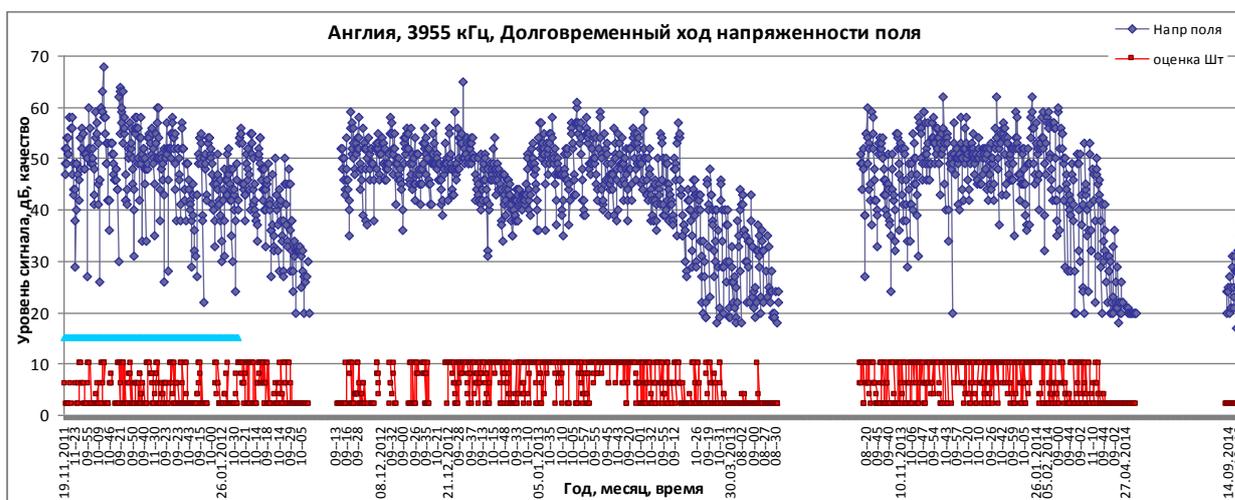


Рис. 51а

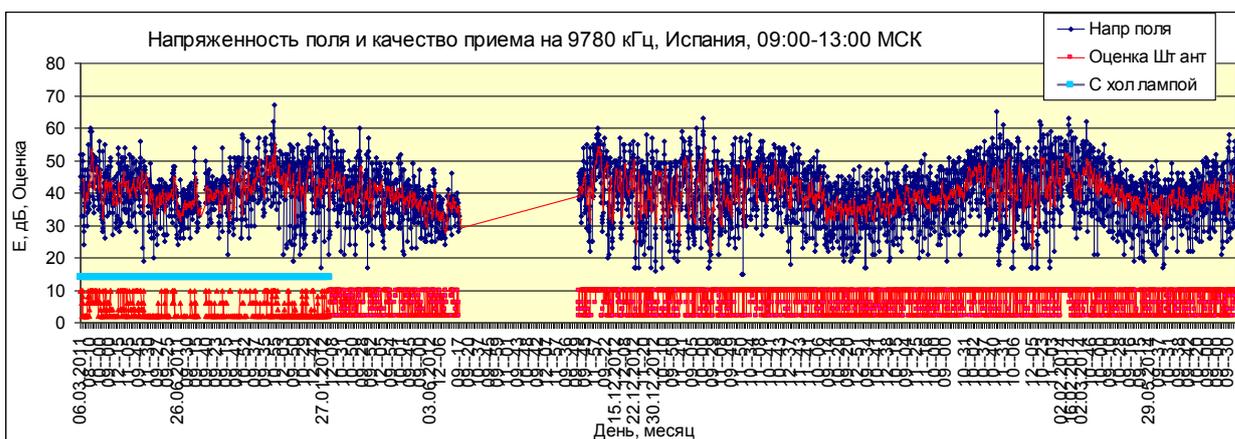


Рис. 51б

Измерения показывают, что в различные месяцы уровень сигнала и качество приема меняются в широких пределах, но оператор старается не менять расписание и частоту в расчете, что найдется территория, где передача будет услышана. В противном случае потеря части аудитории неизбежна. В данном случае передачу лучше всего можно слышать в зимние

месяцы, а в течение периода работы в первый час – в начале и конце зимы, а в середине зимы – после 09.30 МСК. На это есть чисто ионосферные причины. Только за зимние месяцы (ноябрь-февраль) изменения напряженности поля (частота 3955 кГц) и качество приема показаны на рис. 52а. На рис. 52б приведен аналогичный пример для испанской станции, ход напряженности поля которой на частоте 9780 кГц показан на рис. 51б.

На рисунках виден значительный разброс напряженности поля в различные дни приема, а также видно, что средний уровень качества приема несколько увеличивается к середине сеанса и заметно снижается к концу передачи. Причины здесь чисто ионосферного характера.

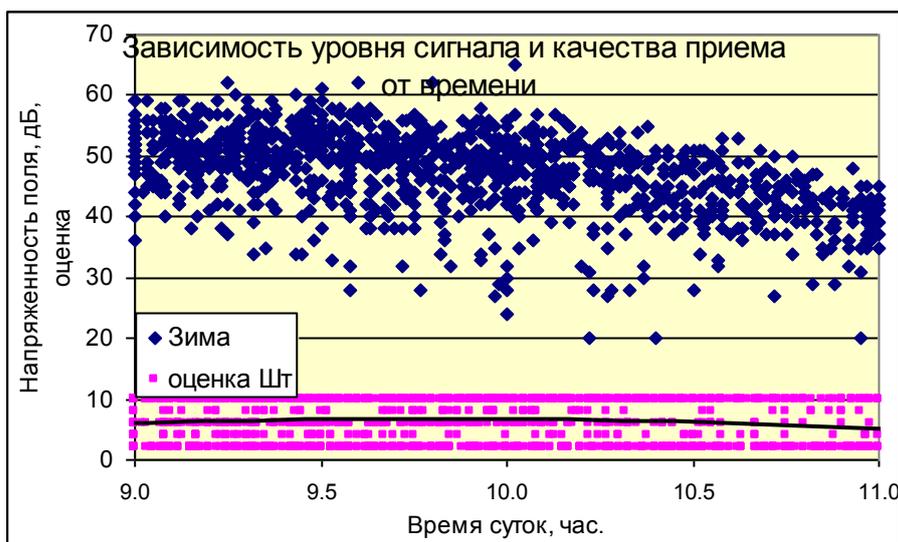


Рис. 52а

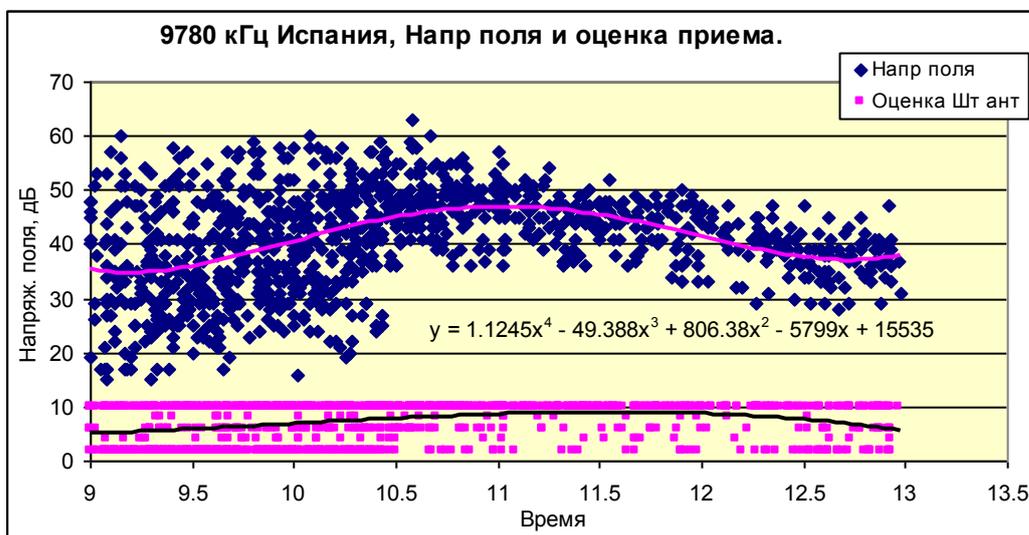


Рис. 52б

Большой разброс уровня сигнала в любом интервале времени говорит о существовании некоторого коридора ситуаций, в котором в разные дни могут изменяться условия прохождения сигнала, и может изменяться качество приема. На рис. 53 показана зависимость качества приема от напряженности

поля для зимних месяцев для частоты 3955 кГц, из которой видно, что при одной и той же напряженности поля в различные моменты времени качество приема может быть также различным. В частности, в полосе 40-60 дБ встречается вся гамма качества сигнала. Отличный прием начинается с уровня 38 дБ, но плохое качество встречается и при 59 дБ.

Поэтому гарантированное отличное качество в условиях отобранного экспериментального материала может быть при уровне сигнала выше 59-60 дБ. Могут быть проведены более подробные оценки, с учетом допустимых 2% потерь времени приема, но практически это не меняет основного вывода. Существует переходная зона, в данном случае 38 – 59 дБ, в которой не гарантирован успешный прием, слева от которой отличное качество не встречается, а справа – оно гарантировано.

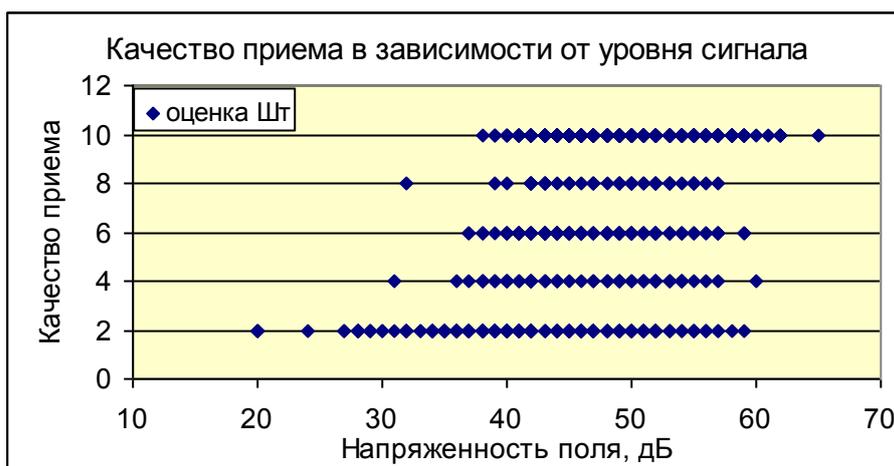


Рис. 53

Переходная зона – это явление, сопровождающее прием каждой радиостанции, так же как и на средних волнах, что видно на рис. 47. Она не бывает во всех случаях одинаковой, и для контролировавшихся станций имеет величины, показанные ниже в таблице 13. Продолжительность приема и измерений на разных радиолиниях составляла от пяти месяцев до трех лет.

Таблица 13

| № № | Час- тота, кГц | Страна передачи | Р, кВт | Основные параметры модуляции | Длина трассы, км | Мини- мальная напр. поля по Рек. BS.1615, дБ | Мини- мальная напр. поля для отличн. приема, дБ | Макси- мальная напр. поля при неудовл. приеме, дБ |
|-----|----------------------|--------------------|-----------|------------------------------------|------------------------|--|--|---|
| 1 | 3955 | Англия | 100 | 64/16QAM | 2800 | 30 | 38 | 59 |
| 2 | 7230 | Румыния | 90 | 64/16QAM | 1500 | 30 | 36 | 48 |
| 3 | 7245 | Румыния | 90 | 64/16QAM | 1500 | 30 | 52 | 73 |
| 4 | 7390 | Румыния | 90 | 64/16QAM | 1500 | 30 | 43 | 64 |
| 5 | 9780 | Испания | 100 | 64/16QAM | 3500 | 30 | 32 | 54 |
| 6 | 9950 | Индия | 50 | 64/16QAM 16/4QAM | 4400 | 30 25 | 39 39 | 57 54 |
| 7 | 11615 | Румыния | 90 | 64/16QAM | 1500 | 30 | 38 | 51 |

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-----------------------|-----|-----------------|------|-----------|-----------|-----------|
| 8 | 11995 | Португалия | 90 | 16/4QAM | 3900 | 25 | 29 | 41 |
| 9 | 12115 | Франция | 100 | 64/16QAM | 2400 | 30 | 39 | 55 |
| 10 | 13810 | Португалия 2008 г. | 90 | 16/4QAM | 3900 | 25 | 27 | 34 |
| Средние величины для 64QAM | | | | | | | 39,625 | 57,625 |

Средняя ширина переходной области составляет $57,625 - 39,625 = 18$ дБ.

По данным Интернета, аналогично рис. 47 для средних волн, из того же источника (drm.org broadcast schedule) результат получен в виде рис. 54:

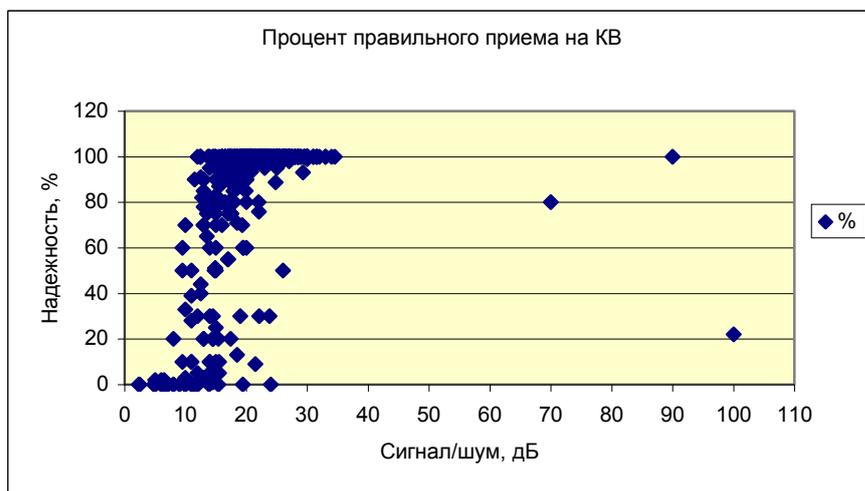


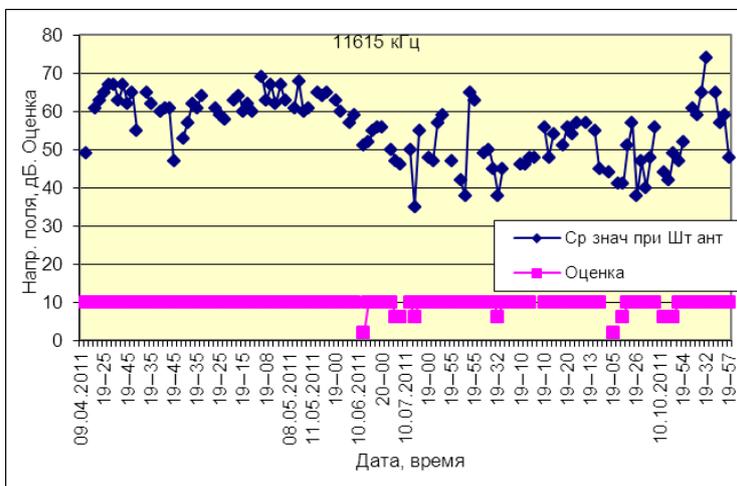
Рис. 54

Из рис. 54 видно, что переходная область составляет примерно $|9-25| = 16$ дБ, что находится в хорошем согласии с результатом, полученным выше.

15.3. Минимальная напряженность поля.

Минимальная напряженность поля не может быть ниже максимальной напряженности поля, при которой нарушается правильное декодирование. Уже из таблицы 13 видно, что средняя величина минимальной напряженности поля для типичных конфигураций DRM сигнала с 64QAM составляет примерно 57,6 дБ. Если быть готовым к худшему случаю, то это будет (отбросив по правилам статистики крайнюю наибольшую величину) 64 дБ. Для режима 16QAM средняя величина минимальной напряженности поля может быть приблизительно на 4 дБ ниже. На такую же величину в среднем позволяет снизить требующуюся напряженность поля и применение добавочной проволочной антенны. Однако добавочная величина, привносимая удлиненной антенной, имеет большой разброс вследствие неопределенности направления прихода сигнала и локального импеданса среды. От этих факторов зависит эффективность работы дополнительной антенны.

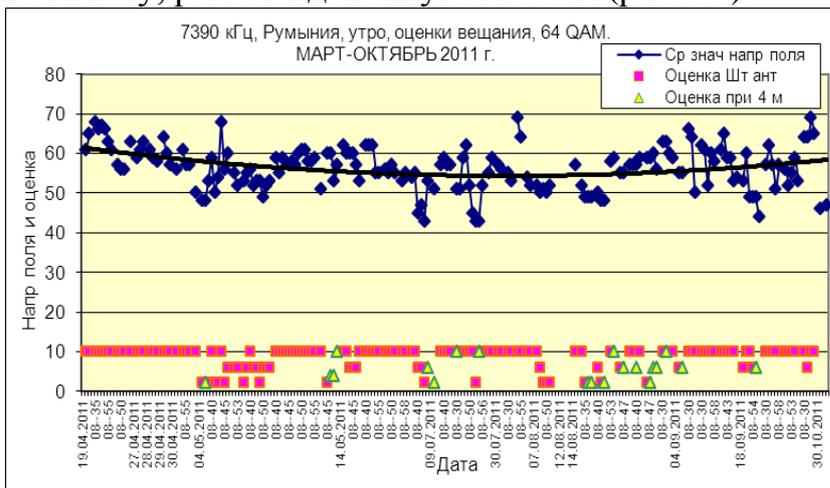
Иллюстрацией к минимальной напряженности поля может служить результат наиболее хорошо работающих станций. На трассах средней дальности можно отметить как одну из лучших работу румынской станции (трасса 1400 км) на частоте 11615 кГц в вечернее время, рис. 55. Период наблюдений – с апреля по октябрь 2011 г.



Прием велся на штатную антенну. Из рисунка видно, что за весь период наблюдений только в единичные дни прием был плохим. В основном это совпадало с периодами, когда напряженности поля опускалась ниже 50 дБ. На этом рисунке также видны характерные особенности приема на КВ: большой размах напряженности

Рис. 55

поля, диапазон изменений составляет 35÷75 дБ, видно и снижение напряженности поля в летние месяцы. Прием хорошо проходит почти во всех случаях при напряженности поля выше 50 дБ, что примерно на 20 дБ выше, чем отмечено в Рек. BS.1615. Несколько хуже прием этой же станции проходит в утренние часы на частоте 7390 кГц, хотя среднее значение напряженности поля выше 55 дБ, что превышает более чем на 25 дБ величину, рекомендованную МСЭ-R (рис. 56).



Здесь видно значительно большее число перерывов, как со штатной антенной, так и с удлиненной (4м). Хороший прием происходит почти всегда при напряженности поля выше 55 дБ.

Рис. 56

15.4. Влияние помех от других станций.

Надежды на то, что прием DRM будет находиться в безопасности при соседстве АМ станций (± 10 кГц) даже, если их уровень на 30 дБ выше основного сигнала, в большинстве случаев не оправдывается. Соседство АМ станций вызывает помехи в канале DRM своими внеполосными излучениями, которые в большинстве случаев далеко выходят за маску, предписанную АМ сигналу. Чаще всего сбои начинаются с ситуации, при которой напряженность поля АМ станции, отстоящей от канала DRM на 10 кГц, соизмерима или даже ниже уровня DRM сигнала на величину 10-0 дБ. Встречаются случаи, когда помеха расположена внутри полосы DRM сигнала. Сейчас трудно предположить, как можно существенно упорядочить

работу АМ станций в мировом масштабе, убрав внеполосные излучения. Отсутствуют практические рычаги.

15.5. Влияние окружающей обстановки.

В документе СЕПТ [13] (см. п.5, подпункт *Взгляд на планирование и на изменение Плана Женева-75*, цитата 7) подчеркивается, что «...необходим период в несколько лет, чтобы накопить информацию для оценки качества DRM-передач на потребительских приемниках. Эта информация требуется, чтобы подтвердить или улучшить параметры планирования, содержащиеся в Рекомендациях МСЭ».

С этим нельзя не согласиться. Бытовой приемник работает не в пустом космосе и редко используется в чистом поле. В любом помещении, населенном пункте или в автомобиле есть помехи. Уровень помех постоянно меняется. На первом месте по важности и времени использования приемника стоит жилое помещение. Многолетние наблюдения позволили выявить ряд факторов, влияющих на работу цифрового приемника. Отметим некоторые из них. Если напряженность поля превышает порог приема цифрового приемника на величину до 5-7 дБ, то прием прекращается или идет со сбоями, если вблизи работает компьютер, зарядное устройство мобильного телефона или других маломощных устройств; если в пределах до метра от приемника работает энергосберегающая лампа, прием резко ухудшается. Ее влияние отражено на рисунках 51а и 51б, на которых в их левых частях прямой линией над величинами оценок отмечены периоды работы энергосберегающей лампы. Особое значение имеет конфигурация активной части комнатной электропроводки. В частности, в одной из комнат передачи испанской станции на частоте 9780 кГц практически не принимались, если не была включена верхняя люстра. Задействованная та или иная часть электропроводки изменяет комплексную величину локального импеданса, и напряжение, наводимое в антенне приемника, может значительно измениться.

Не менее важным является вопрос о дополнительном входном поглощении в помещениях каменных зданий со сложными конструкциями и внутренним техническим оснащением. Исследования в Испании показали, что потери при распространении сквозь стены зависят от многих причин [42]. Не останавливаясь на большом числе деталей, приведем таблицу 14 для одного здания из [42], в котором измерения проводились на частоте 1260 кГц. Из таблицы видно, что в зависимости от ситуации дополнительное поглощение составляет от 5 до 23 дБ.

Потери проникновения

Таблица 14

| | С затенениями от соседних зданий | | | Без затенений от соседних зданий | | |
|------|----------------------------------|------------|--------------|----------------------------------|------------|----------|
| | Снаружи | Внутри | Разность | Снаружи | Внутри | Разность |
| Этаж | E (дВμV/m) | E (дВμV/m) | Dif. (dB) | E (дВμV/m) | E (дВμV/m) | Dif (dB) |
| P2 | 98.04 | 83.95 | 14.10 | | | |
| P3 | 98.73 | 83.00 | 15.73 | | | |
| P4 | 96.64 | 80.30 | 16.34 | | | |

| | | | | | | |
|----|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|
| P6 | 93.47 | 74.55 | 18.92 | | | |
| P7 | | | | 94.07 | 88.77 | 5.29 |
| P8 | | | | 90.21 | 78.06 | 12.15 |
| P9 | 91.35 | 68.43 | 22.92 | | | |

Этот комплекс вопросов на частотах средних волн изучен далеко не полностью, и практически без его решения проблематично прогнозировать прием в бытовых помещениях. Для коротких волн всесторонних результатов не получено.

Одночастотная сеть на коротких волнах без участия ионосферы тестировалась в Англии (частоты 26, 18 и 6 МГц) [38]. Базовая мощная станция находилась в Рампишеме, две другие на удалении 8 и 10 км. Наиболее подходящей оказалась частота 18 МГц, но в процессе работы сети обнаружилось следующие особенности. При работе двух передатчиков в зоне их перекрытия прием может быть как лучше, так и хуже, в зависимости от взаимной задержки сигналов, которая может способствовать либо сложению сигналов, либо вычитанию одного из другого. Без специальной регулировки задержки может стать хуже даже там, где при одном передатчике прием был хорошим. Но правильно отрегулировать ее для всех точек зоны перекрытия даже теоретически невозможно, поэтому всегда могут быть зоны общего обслуживаемого пространства с низким качеством приема. О необходимости настройки одночастотной сети по дополнительной регулировке задержки сообщали также немецкие специалисты, проводившие опыты с одночастотной сетью на средних волнах в Берлине [43]. Это же явление отмечено и в диапазоне ОВЧ. Поэтому вопрос об одночастотных сетях требует тщательного изучения.

Одночастотная сеть с DRM *при участии ионосферы*, что при аналоге называлось синхронной работой, проводилась в России в 2013 г. [44]. [Приложение]

Совместная работа была организована из двух передающих пунктов, Калининграда и Краснодара. Прием велся в Московской области. Результаты оценены как хорошие. В зонах, где сигналы от двух передатчиков соизмеримы, наблюдается заметное увеличение уровня суммарного сигнала от эффекта сложения, достигающее в ряде случаев, округленно, 5 дБ. В зонах, где превалирует один сигнал, прием происходит как при одиночном излучении. Эта ситуация практически повторяет реальную работу коротковолновой синхронной аналоговой сети [45, 46].

16. Оценка надежности канала вещания.

16.1. Виды надежности.

В международных документах определены несколько видов надежности аналогового радиовещания:

- надежность канала - вероятность приема с качеством не ниже заданного;

- надежность приема - вероятность приема программы с качеством не ниже заданного с учетом всех излучаемых частот на данной программе. Этот же смысл у термина “надежность программы”;
- надежность службы - вероятность приема программы с качеством не ниже заданного в заданном проценте обслуживаемого пространства с учетом всех излучаемых на программе частот.

К этим определениям сделан ряд примечаний.

Примечание 1. Канал - линия передачи от передатчика к месту расположения приемника (с разнесением или без такового).

Примечание 2. Определениями надежности предшествует слово “основная”, когда помехой является шум без сигналов других станций.

Примечание 3. Помеха может быть как в виде одного сигнала, так и множественной, как в совмещенном канале, так и в соседнем.

Примечание 4. Заданное значение отношения сигнал/шум и сигнал/(шум и помеха) определяют заданное качество.

Примечание 5. Вышеприведенные термины относятся к одному или многим периодам времени, которые должны быть указаны.

Отметим, что в существующей мировой сети вещания помехой практически всегда является сигнал или сумма сигналов мешающих станций. Помеха в виде атмосферного шума или внутренних шумов приемника может иметь место либо в ограниченном участке частотного диапазона, либо в активные периоды грозовой деятельности. Эти три вида надежности исчерпывают все случаи организации радиовещания, но характеризуют только техническую сторону вопроса. Величина определенной таким образом надежности - это объективная вероятностная характеристика. Оценку надежности можно применять к нескольким сценариям, приведенным в таблице 12.

Таблица 12

| № | <i>Характеристика сигнала</i> | <i>Характеристика помехи</i> |
|---|-------------------------------|------------------------------|
| 1 | Земная волна | Земная волна |
| 2 | Земная волна | Ионосферная волна |
| 3 | Земная волна | Атмосферные шумы |

В дальнейшем основное внимание будет уделено объективной надежности вещания, поэтому определение “объективная” будет опущено.

16.2. Закон распределения надежности и основные статистические характеристики каналов. Модель формирования методики расчета.

Далее в тексте будут использоваться понятия “число передатчиков” или “число каналов”. Имеется в виду, что в ДСВ сети число каналов будем считать равным числу передатчиков, если транслируется одна и та же программа. При этом возможны различные частоты на различных каналах. Полезный сигнал практически всегда распространяется поверхностной волной (земным лучом). Ему свойственны случайные изменения часовых

медиан ото дня ко дню и регулярные сезонные изменения. Быстрых изменений напряженности поля внутри часового интервала, как на КВ, у поверхностного сигнала на ДВ и СВ не наблюдалось. В качестве помехи будем рассматривать три вида сигналов: для дневного времени сигналы от соседних станций, доходящие поверхностной волной, в ночное время основная помеха – это пространственные сигналы от других станций, и третьи – атмосферные и промышленные шумы и помехи. Ночные помехи от других станций кроме медленных часовых замираний имеют еще быстрые внутрисюсовые замирания, продолжительность которых исчисляется величинами от единиц до десятков и более секунд.

Основные положения теории надежности радиовещания на частотах ниже 30 МГц изложены в работах [47-49]. Здесь кратко рассмотрим применение этой методики к случаям, когда полезный и мешающий сигналы распространяются земной или пространственной волной.

16.2.1. Распределение надежности и ее характеристики.

Сигнал и помеху будем характеризовать часовыми медианными значениями напряженности поля, выраженными в децибелах. Распределение часовых медиан ото дня ко дню для одного и того же времени суток подчиняется нормально-логарифмическому закону, плотность вероятности которого имеет следующий вид:

для сигнала -

$$w_c(E_c) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_c} e^{-\frac{(E_c - \bar{E}_c)^2}{2\sigma_c^2}},$$

для помехи -

$$w_n(E_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_n} e^{-\frac{(E_n - \bar{E}_n)^2}{2\sigma_n^2}},$$

где \bar{E}_c и \bar{E}_n - математические ожидания часовых медиан сигнала и помехи соответственно, дБ (практически они могут быть заменены средними значениями за достаточно большое время наблюдения, например, летний и зимний период),

σ_c и σ_n – стандартные, или среднеквадратичные, отклонения (СКО) этих медиан, дБ.

Текущее (часовое) отношение сигнал/помеха, дБ, которое обозначим как

$$\rho = E_c - E_n,$$

будет случайной величиной; ρ подчиняется также нормальному распределению w_ρ со средним значением $\bar{\rho}$ и дисперсией σ_ρ^2 , равными:

$$\bar{\rho} = \bar{E}_c - \bar{E}_n,$$

$$\sigma_\rho^2 = \sigma_c^2 + \sigma_n^2.$$

Вероятность $T(\rho \geq \rho_{гр})$ того, что отношение сигнал/помеха ρ превысит некоторое граничное значение $\rho_{гр}$, определяется как

$$T(\rho \geq \rho_{\text{гп}}) = \int_{\rho_{\text{гп}}}^{\infty} w_{\rho}(\rho) d\rho = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\rho}} \int_{\rho_{\text{гп}}}^{\infty} e^{-\frac{(\rho-\bar{\rho})^2}{2\sigma_{\rho}^2}} d\rho.$$

Но в $\bar{\rho}$ входят средние значения полей сигнала и помехи \bar{E}_c и \bar{E}_{n_j} , которые в общем случае также могут не являться постоянными величинами. В частности, на обслуживаемой территории может действовать помеха с неизвестным заранее случайным средним значением \bar{E}_{n_j} , или местностные особенности тоже могут изменить уровень сигнала. Стандартные отклонения этих величин (средних значений \bar{E}_c и \bar{E}_{n_j}) соответственно есть σ_c и σ_n . Поэтому и надежность T является также случайной величиной, которая может принимать значения от 0 до 1. Далее для большей универсальности вычислений воспользуемся тем, что с точки зрения отношения сигнал/помеха безразлично, что является источником случайных изменений этого отношения – сигнал, на который повлияли местностные изменения, или помеха с ее непредсказуемостью. Удобно, в частности, приписать все случайные изменения помехе, тогда у среднего отношения сигнал/помеха СКО станет равным $\sigma_{\rho} = (\sigma_c^2 + \sigma_n^2)^{1/2}$.

Для определения **плотности распределения** параметра T заменим $\rho - \bar{\rho}$ на t :

$$T(t \geq t_{\text{гп}}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\rho}} \int_{t_{\text{гп}}}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2\sigma_{\rho}^2}} dt,$$

где граничное значение $t_{\text{гп}} = \rho_{\text{гп}} - \bar{\rho} = \bar{E}_n - \bar{E}_c + \rho_{\text{гп}}$ является теперь случайной величиной из-за случайности величин \bar{E}_c и \bar{E}_{n_j} . Плотность вероятности $w_T(T)$ надежности T может быть найдена по обычным правилам для монотонных функций случайных величин как произведение плотности распределения переменной \bar{E} , в которой аргументом является функция $\bar{E}_n = \Psi(T)$, на производную $|d\Psi(T)/dT|$. Опуская далее достаточно длинные преобразования (подробности можно найти в [47-49]), получим для плотности распределения $w(T)$ систему двух трансцендентных уравнений

$$w(T) = \kappa e^{-\frac{\varphi^2}{2}(\kappa^2-1) - \varphi\kappa\nu - \frac{1}{2}\nu^2}, \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\varphi}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (2)$$

$$\text{где } \kappa = \frac{\sigma_{\rho}}{\sigma_{\bar{n}}} = \frac{\sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_n^2}}{\sigma_{\bar{n}}}, \quad \nu = \frac{a - \langle \bar{E}_n \rangle}{\sigma_{\bar{n}}} = \frac{\bar{E}_c - \rho_{\text{гп}} - \langle \bar{E}_n \rangle}{\sigma_{\bar{n}}}, \quad (3)$$

угловые скобки – усреднение по ансамблю, а связующим параметром служит φ . Отметим некоторые свойства этого распределения.

При $\nu = 0$ и при любых значениях k плотность распределения $w(T)$ симметрична относительно вертикальной прямой, проведенной через $T=0,5$. Если $k < 1$, то $w(T) \rightarrow \infty$ при $T \rightarrow 0$ и $T \rightarrow 1$. Если $k > 1$, то при крайних значениях аргумента $(0;1)$ $w(T) \rightarrow 0$. В случае же, когда $k=1$ и $\nu=0$, распределение переходит в равномерное. В любом случае отклонение ν от нуля в ту или иную сторону, приводит к появлению асимметрии. На графиках рис.57а, 57б построены плотности вероятности надежности $w(T)$ для различных условий: ν равно 0 и 5, параметр k в обоих случаях изменяется от 0 до 3 через 0.25.

Для дальнейших иллюстраций более важным является интегральное распределение.

Интегральная кривая распределения имеет вид

$$W(T) = \int_0^T w(T) dT,$$

где T – текущее значение надежности, как представлено в (2). Так как непосредственная подстановка T невозможна, то для дальнейших вычислений удобно перейти от T к переменной φ .

Обозначим $\frac{dT(\varphi)}{d\varphi} = y(\varphi)$, тогда из (2) найдем

$$y(\varphi) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\varphi^2}{2}}, \quad (4)$$

и для $W(T)$, с учетом (1) и (4), получим выражение

$$W(T) = k \int_{\varphi}^{\infty} e^{-\frac{\varphi^2}{2}(k^2-1) - \varphi k \nu - \frac{1}{2}\nu^2} y(\varphi) d\varphi = \frac{k}{\sqrt{2\pi}} \int_{\varphi}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}(\varphi k + \nu)^2} d\varphi.$$

После замены $\varphi \cdot k + \nu = t$ окончательно имеем:

$$W(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{k\varphi+\nu}^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (5)$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\varphi}^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2}} dx \quad (2)$$

где φ находится через T из уравнения (2). Интегральное распределение $W(T)$ определяется параметрической системой уравнений (2) и (5). На рис. 58 приведены семейства кривых $W(T)$ для различных значений k и ν .

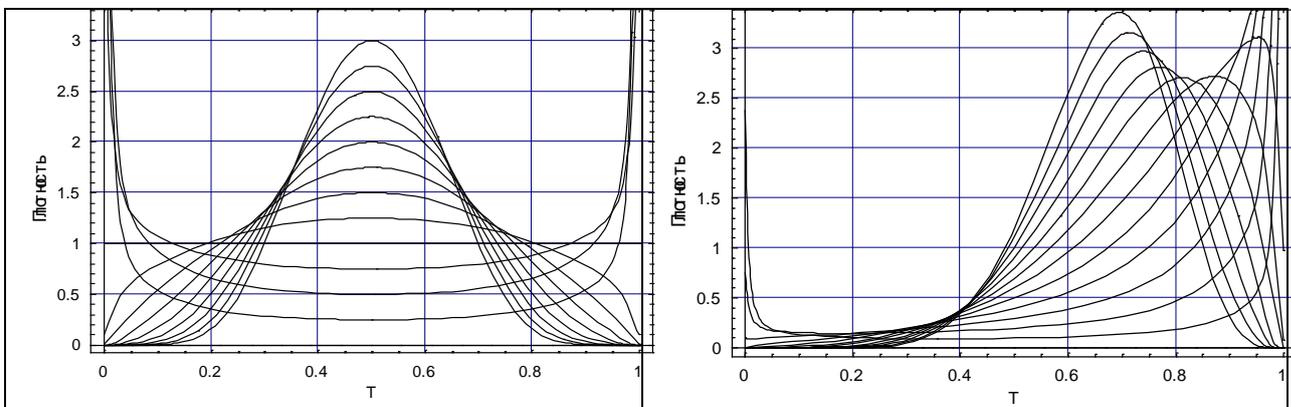


Рис. 57а $\nu=0$; κ от 0 до 3 через 0.25. Рис. 57б $\nu=5$; κ от 0 до 3 через 0.25.

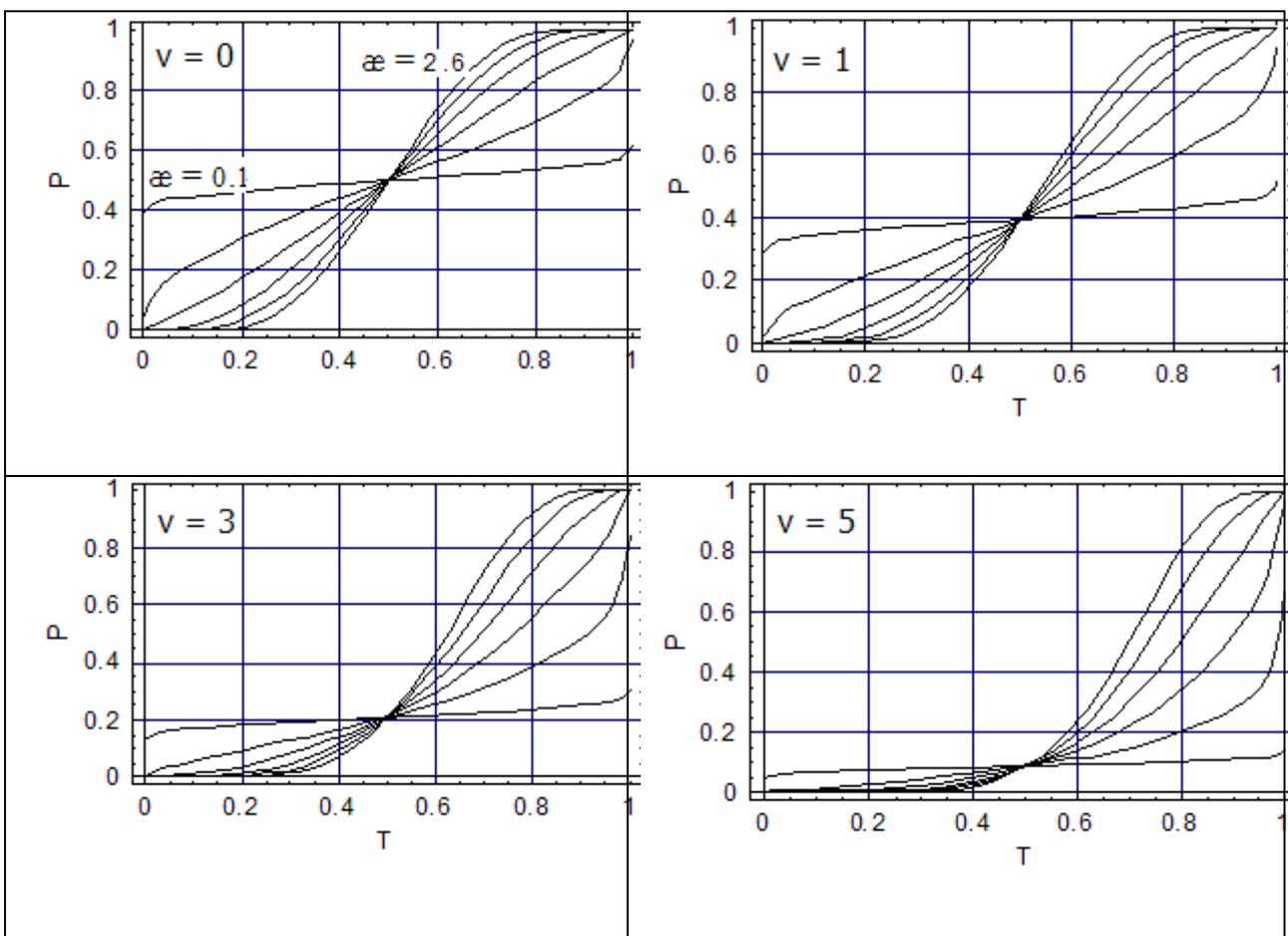


Рис. 58 $\nu=0, 1, 3, 5$; $\kappa=\alpha = 0.1 \div 2.6$, через 0.5

Среднее значение надежности T_{cp} , без вывода (имеется в [47])

$$T_{cp} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\gamma} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

где $\gamma = \nu/(\kappa^2 + 1)^{1/2} = (\bar{E}_n - \rho_{cp} - \langle \bar{E}_c \rangle) / (\sigma_c^2 + \sigma_{\epsilon}^2 + \sigma_{\Pi}^2)^{1/2}$.

Таким образом, средняя надежность и другие статистические характеристики канала зависят от двух обобщенных параметров ν и k .

16.2.2. Примеры расчетов и анализ распределений (к разработке проекта методики расчета надежности цифрового радиовещания с учетом существующих в МСЭ-R методов расчета медианных величин напряженности поля).

16.2.2.1. Темное время суток в летний сезон. Ночное время является самым трудным для организации вещания. Помехи от других станций, приходящие по ионосферному каналу, зачастую в несколько раз сжимают полезную зону, что приводит к существенному снижению качества приема в полной зоне дневного вещания. Применим полученные результаты к расчету надежности для типичного случая работы двух передатчиков в темное время суток в одном канале, когда один из них создает помеху другому, при следующих входных данных:

1. Сезон: лето,
2. Рабочая частота 1008 кГц,
3. Средняя напряженность поля в месте приема полезного передатчика 60 дБ. *Рассчитывается по методике МСЭ-R Рек. Р.368-10.*
4. СКО_А диаграммы антенны
5. Средняя напряженность поля в месте приема мешающего передатчика 30 дБ. *Рассчитывается по методике МСЭ-R Рек. Р.1147.*
6. Защитное отношение для аналогового сигнала 30 дБ (или 17 дБ для удовлетворительного качества),
7. Защитное отношение для цифрового сигнала 21.7 дБ (5.1.2. рис. 40),
8. СКО день ото дня полезного сигнала $\sigma_{д/д} = 2.5$ дБ (4.2.3.3. рис. 35),
9. СКО ионосферного мешающего сигнала $\sigma_{ион} = 9.2$ дБ (5.3.2.),
10. СКО от года к году полезного сигнала $\sigma_{Г/Г} = 2.7$ дБ летом, (4.3 дБ зимой) (4.2.3.2.),
11. Место приема: в лесном массиве средней плотности, (не используется),
12. СКО от места к месту большого масштаба (Рек. Р.1321) $\sigma_{М/М/б} = 3.7$ дБ,
13. СКО местных изменений (малого масштаба) $\sigma_{М/М/м} = 1.9$ дБ (не используется).

Из этого перечня следует, что случайные изменения во времени отношения сигнал/помеха для приема с ионосферной помехой составляют $СКО = (9.2^2 + 2.5^2 + 2.7^2)^{0.5} = 9.9$ дБ, или $k = 9.9/3.7 = 2.68$. Для приведенного списка параметров для случая аналогового вещания на рис. 59 цветом показана зона с преобладанием разности сигнал-помеха над защитным отношением ± 10 дБ, при котором качество вещания считается приемлемым, изменяясь в пределах от удовлетворительного (при -13 дБ то есть 30-17) до

отличного. При дальнейшем снижении уровня сигнала качество приема будет постепенно деградировать до неудовлетворительного.

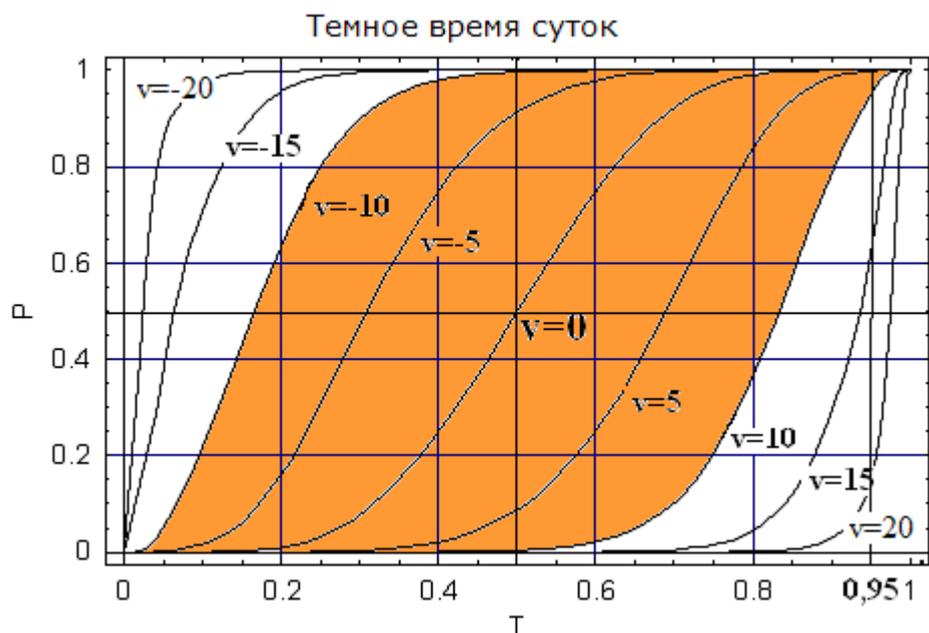


Рис. 59

На рис. 60 для тех же исходных данных, что и для аналогового случая, показана ситуация при цифровом сигнале.

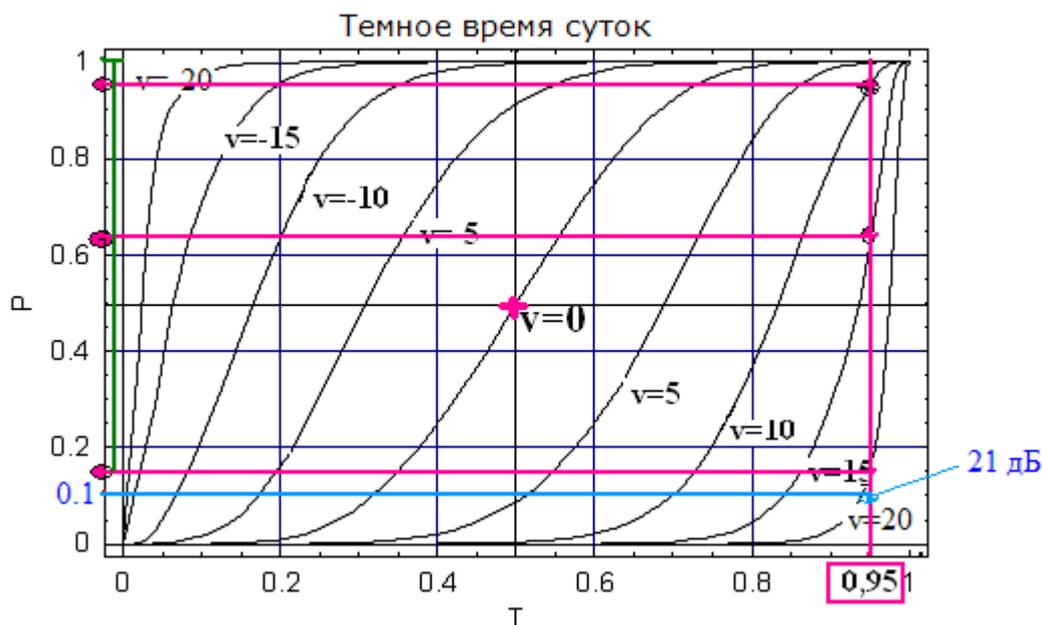


Рис. 60

Для цифрового вещания пороговым значением надежности принято 98% исправно декодированных фреймов. Это трудно достижимая величина, и за нижнюю допустимую границу примем 95%. На рисунке кривая $\nu = 0$ соответствует состоянию, при котором превышение сигнала над помехой равно защитному отношению.

В таком случае из рис. 60 можно видеть, что при надежности T выше 50% (0.5) кривая $\nu=0$ показывает что доля территории P также будет

составлять 50% (0.5). эта же кривая показывает, с надежностью выше 0.6 будет покрыто примерно 25% территории, с надежностью 0.7 – около 20% и т.д. (отсчитывается от пересечения вертикальной линии с выбранной надежностью с кривой $v=0$ до горизонтальной линии с $P=1$). Если путем увеличения излучаемой мощности довести превышение сигнала над помехой до 21 дБ, то можно видеть, что вертикальная линия $T=0.95$ пересекает кривую $v=21$ на уровне $P=0.1$, что соответствует покрытию территории 90% с надежностью 95% и выше. Если ограничиться повышением мощности только до превышения над помехой $v=15$ дБ, то с надежностью 95% и выше будет покрыто несколько больше 35% территории (вторая красная горизонтальная линия). При $v=10$ дБ – только 5%.

16.2.2.2. Светлое время суток.

В светлое время ионосферной помехи не будет, поэтому в самом благоприятном гипотетическом случае допустим наличие только ровного шумового фона, тогда СКО за счет изменений во времени снизится до величины $СКО = (2.5^2 + 2.7^2)^{0.5} = 3.68$ дБ, или $\alpha = 3.68/3.7 = 1$. Все остальные параметры сохраняются. Семейство кривых надежности для аналоговой работы приобретает вид, показанный на рис. 61. Так же как и для предыдущего случая цветом выделена зона с преобладанием разности сигнал-помеха над защитным отношением ± 10 дБ. Можно видеть, что при снятии случайных изменений уровня помехи и сохранении $v=0$ надежность, например, 80% доступна для 20% зоны вещания, в то время как в предыдущем случае такая зона не превышала 2%.

В случае цифрового вещания преимущества можно видеть на всех уровнях сигнала, рис. 62. Например, надежность 95% будет на 90% площади уже при 11 дБ превышения разности сигнал-помеха над защитным отношением, вместо 21 дБ в предыдущем случае. Превышение на 6-7 дБ обеспечит надежность 95% на 50% площади. Для обеспечения надежности 98%, как видно из рис. 62, требуется несколько увеличить превосходство сигнала над помехой, доведя его до 12,5 дБ.

16.2.3. Оценка границ зон обслуживания при цифровом вещании для заданной надежности. Из примеров расчета надежности для различных процентов полезной зоны, приведенных на рис. 60 и 62 можно видеть следующее.

Без учета случайных разбросов значений параметров рис. 5 показывает, что при достижении превышения уровня сигнала над помехой величины, равной выбранному защитному отношению, что соответствует равенству $v=0$, надежность 50% будет обеспечена на 50% территории. Для аналоговой системы это считается нормой, для цифровой это считается недопустимым.

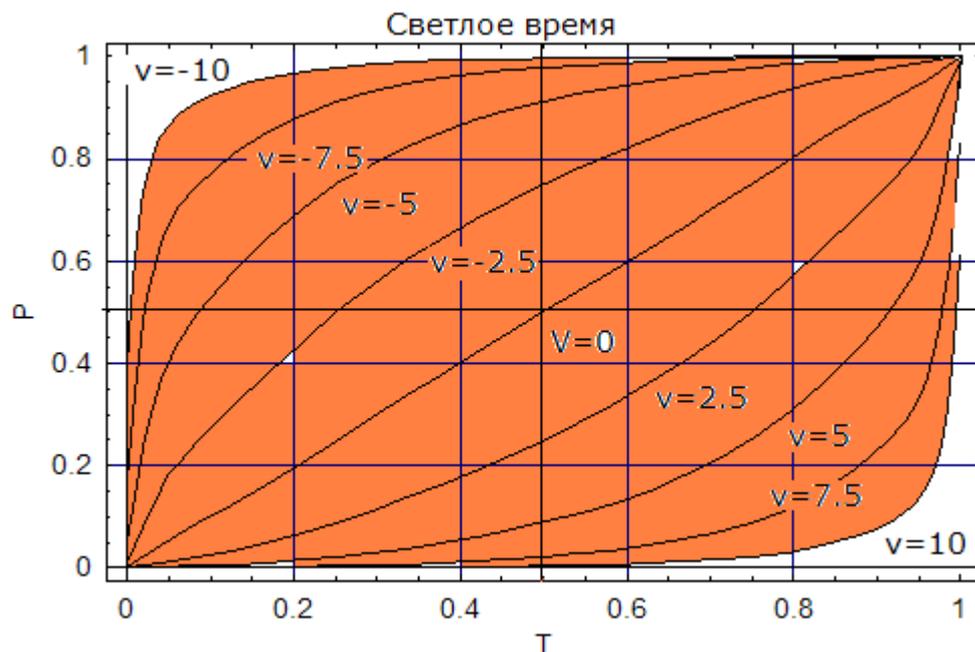


Рис. 61

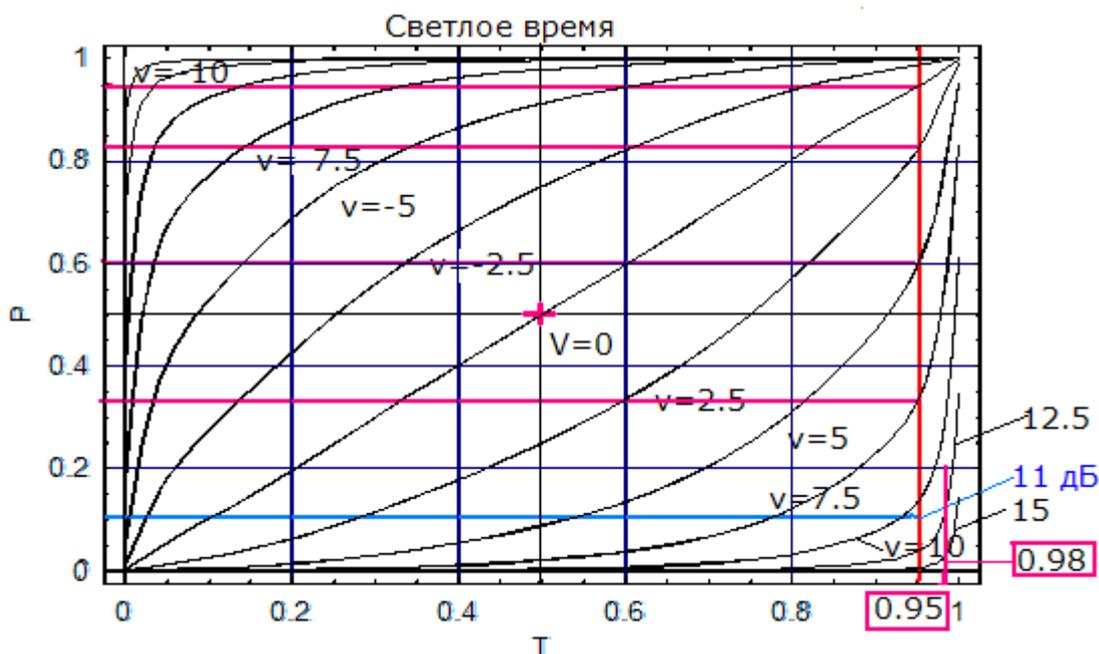


Рис. 62

Для обеспечения более высоких заданных требований необходимо учесть конкретные величины стандартных отклонений параметров для данной радиолинии или для данной ситуации. Следуя примеру рис. 60, можно видеть, что для достижения доли территории 90% с надежностью 95% или более высокой, необходимо, условно говоря, повысить излучаемую мощность на 21 дБ по отношению к ситуации без помех и флуктуаций, то есть по отношению к случаю $v=0$. Это для ночных условий, сохранение полезной зоны в которых является практически неразрешимой задачей. Если не повышать мощность, то зона сократится и ее граница приблизится к передатчику на расстояние, определяемое по соответствующей кривой из Рек. Р.368-10.

Для дневного случая, отраженного на рис. 62, ситуация проще. Чтобы достичь надежности 95% на территории 90% требуется увеличение мощности на 11 дБ. Если этого не делать, зона с заданными требованиями, как и в предыдущем случае, сожмется, но на меньшую величину.

Для обоих случаев необходимо учесть, что по сравнению с аналоговым вариантом, в цифровом случае защитное отношение значительно меньше. Разница составляет 8-12 дБ, что в дневной ситуации вполне компенсирует необходимое повышение мощности. При этом полезная зона практически сохранит свои границы. Уточненные оценки могут быть получены в процессе работы радиолиний.

Остается в тени важный вопрос – почему 90% площади? Если полагать, что все слушатели имеют право на равный доступ к радиовещанию, то вполне уместен вариант, например, 98% площади с 98% надежностью, если 100% иметь нереально. Из рис. 62 видно, что в этом случае точка пересечения $P=0,98$ и $T=0,98$ лежит на кривой примерно $v=15$ дБ. Скорее всего, такая цифра приведет к некоторому превышению типичного значения напряженности поля для средних волн 60 дБ при защитном отношении для цифрового сигнала 21 дБ. Рассмотренные ситуации без возможных деталей просто, «на пальцах», иллюстрирует рис. 63, относящийся к дневной ситуации (рис. 62). На рисунке показаны: уровень помех 30 дБ, уровень достаточной величины напряженности поля для аналоговой системы 60 дБ при значении С/П 30 дБ. Выше уровня помех (30 дБ) показаны: уровень С/П



информационного качества аналогового сигнала (17 дБ), уровень С/П цифрового сигнала (21 дБ). Выше уровня С/П цифрового сигнала (21 дБ) показаны различные величины компенсации замираний, упоминавшиеся выше, 11 дБ, 12,5 дБ и 15 дБ. Рисунок наглядно показывает отрицательную роль случайных изменений участвующих параметров при рассмотрении работы линии на многолетнем периоде. Если без случайных изменений преимущества цифровой системы

Рис. 63

в данном примере составляют примерно 9 дБ, то при наименее требовательном режиме (95% надежность и 90% доля от исходной площади) необходимая напряженность поля превосходит 60 дБ (30+21+11 дБ). При более жестких требованиях к качеству обслуживания в цифровом варианте требуется еще большая величина компенсирующей мощности.

Для рассмотренного примера взята величина С/П для цифровой системы 21 дБ. Эта цифра не случайна. Во-первых, в Рек. Р.1615 для режима работы 64QAM с различными скоростями и уровнем защиты предлагается целая палитра значений, от 16 до 22 дБ (в частности, таблицы 7-9), в зависимости от ситуации, которая большей частью не подвластна оператору. Во-вторых, результаты прослушиваний и измерений, поступившие в адрес

DRM от радиослушателей за период 2006-2009 годы, для СВ станций дали картину, приведенную на рис. 64. Подробности условий приема не сообщаются, но с большой вероятностью можно предположить, что это не специальные тихие места вдали от жилых массивов. На рисунке можно увидеть наличие переходной зоны, характеризующейся началом примерно



со значения С/Ш ≈ 11 дБ (левее которого нет отличных оценок) и оканчивающейся примерно на С/Ш $\approx 21-22$ дБ (правее которого практически только отличные оценки).

Рис. 64

Таблицы из Рек. Р.1615 и приведенные на рисунке данные позволили взять за основу для цифровой системы при анализе примеров величину защитного отношения 21 дБ. Можно принять и другие разумные цифры защитных отношений, но на итоговых результатах это не должно заметно отразиться. Можно сделать одну оговорку. При переходе на режим работы 16QAM защитные отношения снижаются в среднем на 5 дБ. Это позволяет работать при более низкой напряженности поля. Качество работы при этом несколько снижается. Но трехлетние наблюдения за работой КВ станций показали, что только несколько единиц пробовали некоторое время работать в этом режиме (Португалия, Индия, Нигерия).

Важно подчеркнуть, что при более глубоком и подробном анализе целесообразно, даже необходимо, проводить расчеты не только для чистого поля, где условия в иных случаях на короткий период могут сложиться близкими к лабораторным, а для жилых помещений в долговременном исчислении, где пребывает аудитория, для которой и организовано радиовещание.

Рассмотренные выше ситуации с зонами обслуживания, это только пример. Совершенно не обязательно, что в реальных условиях будут такие же соотношения зон и надежностей. Тем более что значительное число факторов в расчетах не участвовало (случайные изменения проводимости почвы, рельеф, растительность, сезонные изменения и т.д.). Но качественное ядро, по-видимому, свои черты сохранит.

В любом случае, из рассмотренных примеров видно, что совместный взаимозависимый расчет надежности и соответствующий ей зоны покрытия с применением формулы $\{(8)+(11)\}$ может обеспечить широкие возможности анализа ситуации и подбор характеристик рассматриваемой сети.

17. Заключение.

Все, что рассмотрено выше, подводит к следующим выводам.

17.1. Полосы НЧ и СЧ.

17.1.1. Все системы DRM, включая комбинированную (simulcast), в зоне достаточного уровня сигнала в дневное время без помех от других станций работают удовлетворительно.

17.1.2. Можно считать недостаточно изученным практическое влияние помех от других станций, как цифровых, так и аналоговых, как в дневное время, так и, особенно, в ночное время. Имеется достаточно причин уточнить рекомендации, содержащиеся в МСЭ-R Рекомендации BS.1615. В частности, в реальных условиях защитные отношения и минимальная напряженность поля требуются больших величин, чем предложено в Рекомендации.

17.1.3. Весьма важную роль играют статистические характеристики параметров планирования. Их изучение только начинается и еще далеко от уровня, необходимого для применения в планировании.

17.1.4. Экономическая эффективность систем DRM практически не изучена. В разных случаях применения систем она будет различна, так же как и задачи, решаемые конкретной системой, могут быть различными. Сравнение систем между собой и с различными видами аналоговых систем находится в стадии дискуссий, и окончательного решения еще не выработано. По кратковременным тестам без учета долговременной статистики поведения сигналов и без критериев, соответствующих задачам данной службы, сделать определенные выводы весьма проблематично. Сравнения с современной системой (с управляемой несущей) или другими АМ системами в реальных условиях не проводились.

17.1.5. Переходная зона цифрового сигнала и ее затухающая часть, так же как и ее воздействие на другие системы (не только радиовещательные), в практическом плане не изучалось.

17.1.6. Основная характеристика работы системы – прием в жилых помещениях на бытовые приемники – практически не изучена.

17.1.7. Работа на рамочную или штыревую антенну – что лучше? – не изучена.

17.1.8. Расчеты надежности работы цифровых систем во многих случаях не могут быть выполнены достаточно убедительно из-за неполноты статистических характеристик используемых параметров. Необходимо расширить эту область исследований.

17.2. Полосы ВЧ.

17.2.1. Системы наклонного распространения не во всех условиях работают удовлетворительно. Трассы с повышенной многолучевостью, особенно

проходящие в высоких широтах, трассы с диффузным рассеянием, особенно проходящие в низких широтах, даже при высокой напряженности поля работают неудовлетворительно. Наилучшими условиями обладают трассы небольшой протяженности в средних широтах.

17.2.2. Система с зенитным излучением обладает повышенной многолучевостью, что в большинстве случаев требует повышенной напряженности поля (не ниже, примерно, 60 дБ).

17.2.3. Работа ВЧ канала на линиях любой протяженности сопровождается длительными (от минут до десяти и более минут) глубокими (до 20 дБ) замираниями сигнала. При ограниченном потенциале радиолинии всегда имеется риск перерывов в работе. Глубокие длительные провалы напряженности поля цифровая система не исправляет.

17.2.4. В реальных условиях для стабильной работы в периоды устойчивого состояния ионосферы требуется минимальная напряженность поля значительно более высокая, чем предложенная в Рек. BS.1615.

17.2.5. Прием в помещении может зависеть от работы окружающих электроприборов и состояния электросети.

17.2.6. Работа синхронных сетей обладает более высокими показателями надежности, и лучше противостоит глубоким продолжительным замираниям.

17.2.7. Практически не изучена проблема помех в совмещенном и, особенно, в соседних каналах в реальных условиях от аналоговых и цифровых станций.

17.2.8. Требуются дополнительные экспериментальные данные о минимальной напряженности поля на радиолиниях различных частот, географического расположения, при работе в различных ионосферных условиях.

18. Список источников

1. МСЭ-R, Док. 3J/25, 2008 г., Испания.
2. МСЭ-R, Док. 6E/175, 2005 г., Испания.
3. МСЭ-R, Док. 6E/54, 2004 г., Франция.
4. МСЭ-R, Док. 6E/403, 2006 г., Мексика.
5. МСЭ-R, Док. 6E/390, 2006 г., АВU, (Вьетнам).
6. МСЭ-R, Док. 6/353, 2007 г., Италия.
7. Andrew Murphy, The Plymouth Digital Radio Mondiale (Drm) Trial Long-term Reception Results, Research White Paper WHP 174, 2009, BBC.
8. МСЭ-R, Док. 6A/10, 2008 г., Индия.
9. МСЭ-R, Док. 3J/140, 2010г., Бразилия.
10. "Medium Wave DRM Trials in Brasil-Initial Results" 2011 SBMO/IEEE MTT-SW International Microwave and Optoelectronics Conference Natal, Brazil, November 2011.
11. а) МСЭ-R, Док. 6A/228, 2013, б) Док. РГ РВ/02/98, 2013, Измерения зоны покрытия цифровым радиовещанием стандарта DRM в диапазоне средних волн в дневное, ночное время и в зоне фединга, Россия.
12. Док. СЕРТ FM РТ45(07)039, Управление переходом на цифровое звуковое радиовещание в LF/MF диапазонах частот.
13. Док. СЕРТ FM РТ45(07)038, Возможные технические и регулирующие мероприятия для облегчения внедрения DRM излучения в LF/MF радиовещательных диапазонах в МСЭ Регионах 1 и 3.

14. R. Bown and G.D. Gillett, "Distribution of radio waves from broadcasting stations over city districts", Proc. IRE, 1924, v.12, Aug. 4, pp. 395-410.
15. R. Bown, D.K. Martin and R.K. Potter, "Some studies in radio broadcasting transmission", Proc. IRE, 1926, v.14, pp. 57-131.
16. Ю.А. Чернов, А.У. Жильцов, "Статистические характеристики земной волны в диапазоне НЧ-СЧ", Радиотехника, 1997, № 2, 41-45.
17. Кьяндский Г.А., Об определении наивыгоднейшей длины волны отправительных радиостанций, Телеграфия и телефония без проводов. 1922, №17, с. 705-713.
18. Фейнберг Е.Л., Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. М. Академия наук СССР, 1961.
19. Кашпровский В.Е., Кузубов Ф.А., Распространение средних радиоволн земным лучом, Изд. Связь, М. 1971.
20. Hufford G.A., An integral equation approach to the problem of wave propagation over an irregular surface, Appl. Math., 1952, vol. 9, p. 391-404.
21. Проскурин Е.П., Пылаев А.А., Тихомиров Н.П., Штейнберг А.А., Распространение радиоволн над электрически и геометрически неоднородными трассами, Проблемы дифракции и распространения волн, Вып. 18, Л., 1981.
22. Ott R.H., Vogler L.E., Hufford G.A., Ground wave propagation over irregular, inhomogeneous terrain: comparisons of calculations and measurements., NTIA-REPORT-79-20, May 1979.
23. Дин А.Б., Козин И.Д., Пылаев А.А., Штейнберг А.А., Распространение радиоволн ДВ- и СВ-диапазонов над горными трассами, Проблемы дифракции и распространения волн, Вып. 23, Л., 1990.
24. a. D. de la Vega *et al.*, "Analysis of the attenuation caused by orography influence in the Medium Wave Band", 2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference VTC2007 Spring, 23-25 April 2007, Dublin, Ireland.
6. МСЭ-R, Док. 3J/24, 28 мая 2008 г.
25. Barfield R.H., The attenuation of wireless waves over land. Journal IEE, 1928, p. 204.
26. W.Gerber und A. Werthmüller, "Ueber die vegetabile Absorption der Bodenwelle", Techn. Mitt. T.T., Sw., 1945, № 1, 12-19.
27. Eppen F., Ueber periodische Schwankungen der Fildstärke von Funksendeni, ENT 1933, S. 108.
28. Чернов Ю.А, Сезонные изменения напряженности поля земной волны в дневное время в НЧ, СЧ диапазонах, Труды НИИР, 2005 год, стр.109-115.
29. Чернов Ю.А., Цифровое радиовещание до 30 МГц. Часть 1. Длинные и средние волны, Светлое время суток, Электросвязь, 2012, №1.
30. В.Н. Захаренко, Влияние вариаций электропроводности подстилающей поверхности на амплитуду напряженности земной волны диапазонов СВ и ДВ, Электросвязь, 1992, №1, 34-35.
31. Чернов Ю.А. Вариации уровня сигнала земной волны на средних и низких частотах в дневное время, Труды НИИР, 2013, №4, 90-105.
32. Финальные Акты Региональной Административной Конференции по НЧ/СЧ радиовещанию в Регионах 1 и 3, Женева, 1975.
33. Чернов Ю.А., Никонов А.В., Защитные отношения в совмещенном канале для АМ радиовещания. Электросвязь, 1992, №9, 21-23.
34. Spaulding A.D., Fading Signals in the MF Band, U.S. Department of Commerce Malcolm Baldrige, Secretary, June 1982.
35. Чернов Ю.А., Где DRМу жить хорошо, ИКС, 2010, №3, 58-61.
36. Чернов Ю.А., «Цифровое радиовещание до 30 МГц. Иллюзии и реальность. Часть 1. Длинные и средние волны. Светлое время суток», Электросвязь, №1, 2012.
37. Гамаюнов Е.М., Городецкий С.Э., Козыровский Б.Ю., Чернов Ю.А. и др., Экспериментальная оценка влияния динамического управления несущей на отношение сигнал/шум в АМ радиовещании, Электросвязь, 2001, №8, 31-35.

38. Док. МСЭ-R WP6E-C-0054, 2004 г. (DIGITAL BROADCASTING AT FREQUENCIES BELOW 30 MHz ... REPORT for ITU).
39. Жильцов А.У., Шлюгер И.С, Чернов Ю.А. и др., Исследование зоны обслуживания зенитной антенной, Электросвязь, 1977, №5, 42-48.
40. МСЭ-R, Док. 6D/10, 2008, RESULTS of DRM TRIALS IN NEW DELHI: SIMULCAST MEDIUM WAVE, TROPICAL BAND, NVIS AND 26 MHz LOCAL BROADCASTING.
41. Шакун А.И., Информация о работе по созданию Краснодарским КРТПЦ опытной зоны цифрового радиовещания. Доклад на семинаре «Состояние и перспективы внедрения цифрового радиовещания DRM в России», Сочи, 6-8 октября 2010г.
42. Док. МСЭ-R WP6A/73, 2008 г
43. Доклад, представленный от Консорциума DRM на Международном симпозиуме по цифровому радиовещанию 2009, г. Москва, ГРЧЦ, 4-16 октября 2009 г.
44. а) Док. МСЭ-R WP6A/307, 2013 г. , б) Document 6A/530-E, 6 February 2015, в) Док. РГ РВ/03/140, Тестирование одночастотной DRM радио сети в КВ диапазоне, Россия.
45. Экспериментальное исследование синхронной работы трех и четырех передатчиков в декаметровый сети радиовещания. Труды НИИР, 1991, №2, 20-24.
46. Синхронная работа двух радиовещательных ВЧ передатчиков на опытных трассах. Электросвязь, 1995, №3, 20-21.
47. Чернов Ю.А. Надежность канала радиовещания. Труды НИИР, 1969, №1, 131-139.
48. Чернов Ю.А. Надежность сетей радиовещания на коротких и средних волнах. Труды НИИР, 1969, №2, 115-123.
49. Чернов Ю.А. Некоторые приложения теории надежности сетей радиовещания к анализу экспериментальных результатов. Труды НИИР, 1969, №3, 130-137.
50. Williams J.D., An approximation probability integral, Ann. Math. Statist., 1946,17,363.
51. Ханович И.Г., Об интегралах, определяющих потенциальную помехоустойчивость систем связи, «Труды учебных институтов связи», 1962, вып. 12.