

## ЦИФРОВОЕ ВЕЩАНИЕ

УДК 621.396.93

## ЦИФРОВОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ ДО 30 МГц: ИЛЛЮЗИИ И РЕАЛЬНОСТЬ\*

## Часть 2. Длинные и средние волны. Темное время суток

Ю.А. Чернов, главный научный сотрудник ФГУП НИИР, д.т.н.; chernov45@mail.ru

**Ключевые слова:** системы радиовещания, цифровой сигнал, помехи, полезные зоны, сравнительные результаты.

**Введение.** При проведении Региональной Конференции по радиовещанию на ДВ и СВ для Регионов 1 и 3 в 1975 г. (Женева-75) [1] отмечалось, что в темное время суток в ряде случаев может быть реализовано радиовещание пространственной волной с выполнением заданных требований по качеству приема. Таких случаев может быть немного, и, в основном, ионосферные сигналы являются помехами, значительно сокращающими полезную зону, создаваемую земной волной. Для аналоговых систем в любом случае граница полезных зон определялась по медианному уровню сигнала, как для быстрых (внутри часа) изменений уровня сигнала, так и для изменений часовых медиан ото дня ко дню в течение месяца. При планировании для темного времени суток не предусматривался детальный учет статистики колебаний уровня сигнала: учитывался лишь процент ночей с уровнем ионосферного мешающего сигнала, не превышающим допустимый порог в течение года. Такие облегченные требования к учету ионосферной помехи обусловлены исключительно слабой реакцией аналоговой системы на изменения отношения сигнал/помеха в довольно широких пределах (до -10, -15 дБ), при которых передача сигнала не пропадает, но прием его становится в той или иной степени менее комфортным.

Такой подход сформировался в период начала и расцвета аналогового радиовещания и на многие годы обеспечил хорошее качество радиовещания в стране. Однако сегодня в ДСВ-диапазоне плотность станций, и не только радиовещательных, значительно возросла, требования к обеспечению совместной работы и качеству приема резко повысились, поэтому использование частот немисливо без подробного учета всех характеристик поведения сигналов даже для аналоговых систем. Необходимо подчеркнуть, что планирование работы сети или отдельных радиостанций проводилось почти всегда для дневного времени суток, а ночной период уходил как бы в тень. Причин здесь, как минимум, две: невысокая (из-за сложного поведения ионосферной помехи) надежность расчетов ночной зоны вещания и весьма небольшая величина самой зоны, работу на которую мощных передающих средств никак нельзя назвать оправданной.

Что касается цифрового сигнала, то из-за его пороговых свойств подход к организации сети еще более жесткий, так как требуется более тщательный учет статистических характеристик сигнала и помех. Рассмотрим работу цифровой и аналоговых систем, формирующих полезные зоны земной волной, с единых статистических позиций.

**Зона земного сигнала. Помехи по ионосферному каналу.** Сигнал на длинных и средних волнах при распространении

земной волной исторически считался практически стабильным. Однако наблюдения почти за столетие работы радиовещания показали, что это не совсем так. Сигнал земной волны подвержен таким же видам замираний, как и другие сигналы, распространяющиеся в природных условиях. Он имеет случайные изменения различных временных масштабов с различными законами распределений, и детерминированные изменения, связанные с сезонными, суточными или иными факторами. Сегодня накоплен достаточно обширный экспериментальный материал, основное содержание которого в обобщенном виде отражено в Рек. Р.1321-2, Рек. Р.368-9 и других документах МСЭ-R. Некоторые характеристики полезных зон рассмотрены в предыдущей части работы [2].

Помеха по ионосферному каналу также имеет все упомянутые виды случайных замираний, только несравнимо более быстрые, поэтому отношение сигнал/помеха (С/П), его вероятностные характеристики и вероятность приема с тем или иным качеством, могут быть оценены по известным правилам.

**Исходные статистические характеристики земного и ионосферного сигналов.** В ночной период ионосферный сигнал подвержен быстрым замираниям (внутричасовым) и медленным от часа к часу и ото дня ко дню. Сезонные изменения определяются поведением ионосферы, зависящим от солнечного влияния. Основной земной сигнал также подвержен замираниям ото дня ко дню и сезонным изменениям, но другой физической природы. Примеры изменений ото дня ко дню земной волны приведены в зарубежных публикациях и в отечественной литературе. На рис. 1 показаны изменения уровня земного сигнала, как ото дня ко дню, так и сезонные на более чем годовом интервале (трасса Филадельфия-Балтимора, 1170 кГц, 122 км, май 1939 г. – август 1940 г.) [3]. Эти результаты были одними из первых при изучении долговременной статистики радиовещательных сигналов. Позже аналогичные измерения проводили в Германии (8 лет) [4], в России в Сибири [5] и более 12 лет вблизи Москвы (частично представлены в Документах МСЭ-R [6]). Изменения ото дня ко дню наблюдаются на всех СВ-трассах и на большинстве ДВ-трасс (примеры приведены на рис. 2, в Легенде ОПРЦ – Октябрьский передающий радиоцентр, числа после «кГц» означают длину трассы, км). Имеется достаточно надежная

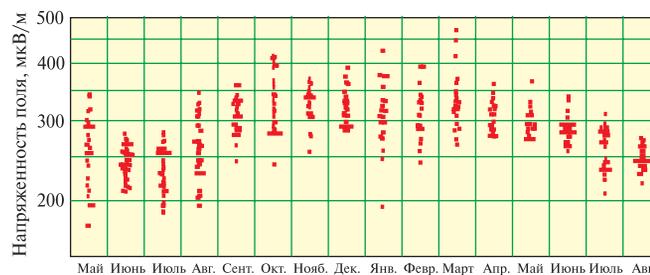


Рис. 1

\* Начало см. ЭС, 2012, № 1.

многолетняя статистика изменений уровня сигнала, из которой для нашей задачи важны стандартные или среднеквадратичные отклонения (СКО) ото дня ко дню и сезонные изменения (размах  $H$ , дБ, – разность между среднемесячными величинами для лучшего зимнего месяца и худшего летнего). Не вдаваясь в подробности, ограничимся усредненными цифрами, которые вполне подходят для рассмотрения обсуждаемой проблемы. Для длинных волн низкочастотного края диапазона и коротких трасс (десятки километров) СКО изменяются от долей децибела (в среднем 0,8 дБ) до 10–12 дБ для более высокочастотной части диапазона и протяженностей трасс до 1000 и более километров. На СВ изменения уровней сигналов для коротких трасс (десятки километров) значительно более глубокие, чем на ДВ, и составляют, в основном, 2–4 дБ (редко 5–6 дБ), что видно из рис. 3. Трассы, расположенные в средних широтах со значительной частью лесного покрова, характеризуются сезонными изменениями уровня сигнала, которые, как показано на рис. 4, составляют 5–15 и более децибел (для ДВ предполагается проводимость почвы равная 10 мСм/м). Для земных сигналов наблюдается также изменение их уровней от места к месту, имеющее СКО, в среднем, 3,7 дБ [7]. Таким образом, замирания на трассах земных волн сильно зависят от частоты и протяженности трассы. В СВ-диапазоне даже на трассах небольшой протяженности (20–100 км) СКО заметно зависят от сезона и частоты (рис. 5, 6).

Как известно, ионосферные сигналы имеют быстрые и медленные замирания, что достаточно полно освещено в литературе. Характеристики замираний для ночного времени суток хорошо представлены в [8].

Однако в документах МСЭ-R для ионосферного распространения ДВ и СВ в темное время суток нет данных о зависимостях СКО от частоты и от протяженности трассы.

При ионосферном распространении распределение амплитуд при быстрых (внутричасовых) замираниях принято считать релеевскими, для медленных (ото дня ко дню) – логнормальными.

Несмотря на большое число измерений в различные периоды и в различных странах, окончательной ясности в величинах СКО относительно медленных изменений до сих пор нет. Краткий обзор результатов приведен в [8]. В нем показано, что по одним материалам МСЭ-R СКО ото дня ко дню равно 4,3 дБ, в других материалах предлагается использовать СКО, равное 6,25 дБ; среднее, видимо близко к 5 дБ. Из материалов FCC следует, что СКО равно 7,4 дБ. На наш взгляд, такое разнообразие результатов может объясняться некоторой долей примешанных внутричасовых отклонений. Из исследований самого автора [8], проведенных на ряде радиолиний в Пуэрто Рико, следует, что СКО ото дня ко дню составляет 2,34 дБ, а вместе с внутричасовыми замираниями – 5,66 дБ.

Изучения, проведенные в России, показали, что СКО часовых медианных значений равны 4,7 дБ (верхняя половина на распределения) и 6,3 дБ для нижней половины [9, п. 2.3]. При СКО ото дня ко дню, равных 4,3 дБ, вместе с быстрыми внутричасовыми замираниями получим  $\sigma_{и} = 6,25$  дБ на СВ и  $\sigma_{и} = 5,1$  дБ на ДВ. Большое количество различающихся экспериментальных результатов, относящихся к различным периодам, протяженностям трасс, частотам, географическим регионам, сейчас еще не позволяют получить однозначную систему оценок СКО. Для ориентировочного анализа целесообразно принять рекомендацию Конференции Женева-75, согласно которой  $\sigma_{и} = 7,8$  дБ для СВ и 6,3 дБ для ДВ с учетом медленных и быстрых замираний. Далее будем использовать

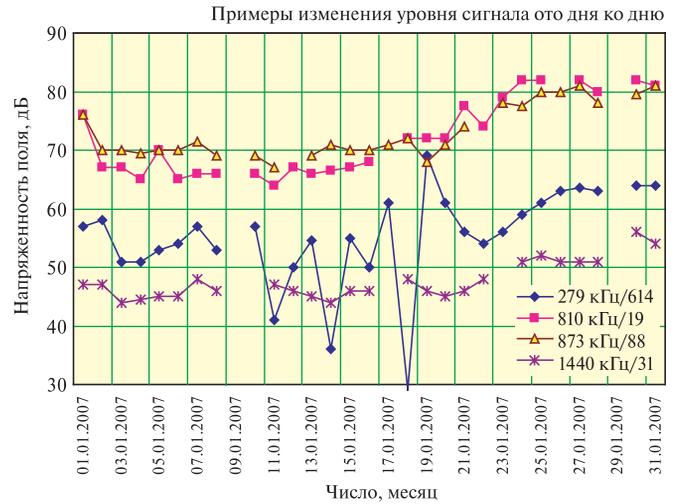


Рис. 2

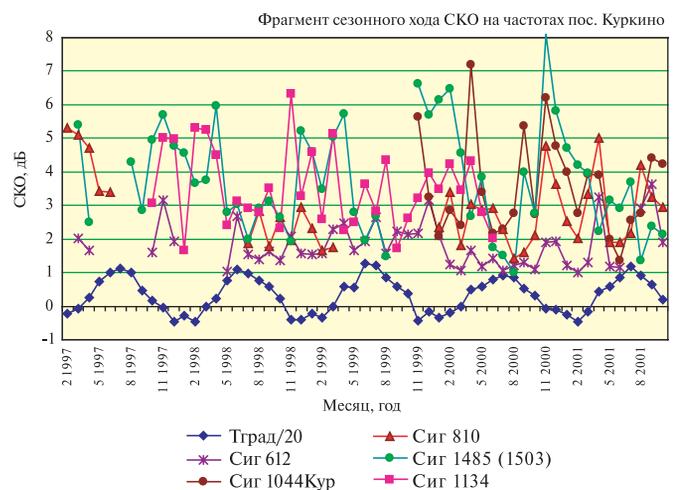


Рис. 3

характеристики замираний земных и ионосферных сигналов, представленные в таблице.

**Прием земного аналогового сигнала при ионосферной помехе.** Рассмотрим конкретную ситуацию с аналоговой помехой. Полезный аналоговый передатчик мощностью 100 кВт работает на частоте 999 кГц. Без помехи полезная зона при проводимости почвы 3 мСм/м имеет радиус, определяемый медианным уровнем сигнала земной волны 60 дБ, равный 95 км. Примем, что аналоговая помеха снижает отношение С/П, например, до 20 дБ вместо требующихся 30 дБ. При такой аналоговой помехе радиус полезной зоны сократится, и при С/П, равном 30 дБ, составит только 58 км. Качество приема на месте первоначальной границы, соответствующее С/П 20 дБ, станет на 1 балл ниже, но без срыва приема.

Вид распространения	Характеристики сигналов и величины изменений их уровней			
	Быстрые (внутри часа)	Медленные, ото дня ко дню	Изменения от места к месту	Сезонные, размах $H$ , дБ
Земная волна	Незначительные	Логнормальные, $\sigma=2...4$ дБ	Логнормальные, $\sigma=,7$ дБ [7]	ДВ: 0...12 дБ СВ: 5...20 дБ [7]
Ионосферная	Релеевские, $\sigma=6$ дБ	Логнормальные, $\sigma=5$ дБ [8]	–	–
	Сумма быстр. и медл. 7,8 дБ для СВ			

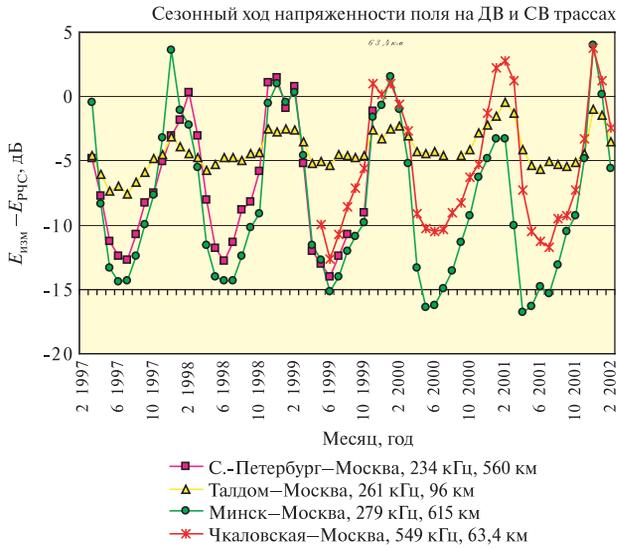


Рис. 4

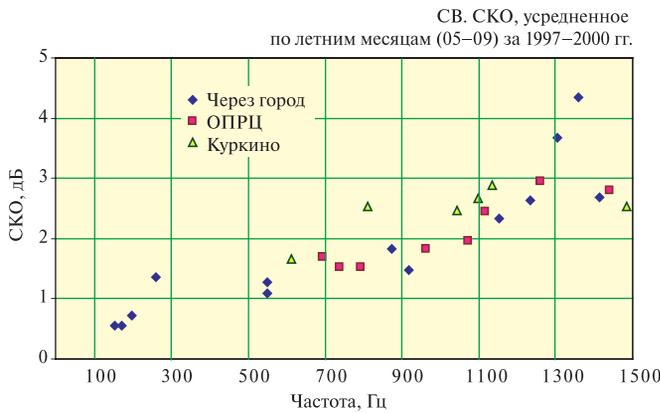


Рис. 5

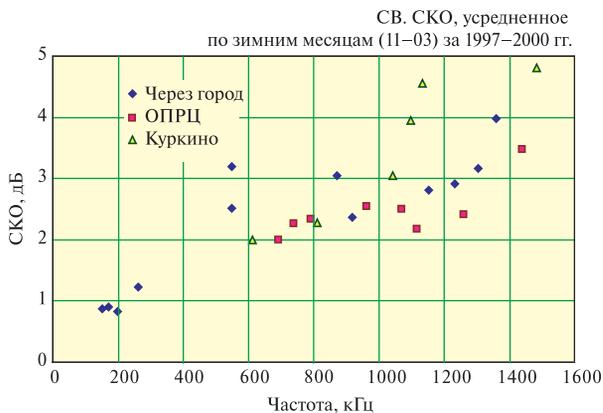


Рис. 6

Если вместо аналогового мешающего передатчика устанавливается цифровой с мощностью, сниженной на 7 дБ, считается, что полезная зона сохранит свои размеры, т.е. 58 км, но при этом заметность помехи неизбежно возрастет из-за различия звуковых спектров полезного сигнала и цифровой помехи. Так как ионосферная помеха имеет флуктуирующий характер, то качество приема будет плавающим, с изменениями в пределах примерно  $\pm 1$  балл. Как отмечено в [2], это практически не отражается на непрерывности приема программы.

**Прием земного цифрового сигнала при ионосферной помехе.** Полезный аналоговый передатчик заменен цифровым

со сниженной на 7 дБ мощностью. Ионосферная помеха – от аналогового передатчика. При этом на границе полезной зоны, вычисленной в предыдущем случае ( $C/P=30$  дБ и  $R=58$  км), получим  $C/P=30-7=23$  дБ. Однако защитные отношения цифрового сигнала при мешающем аналоговом сигнале значительно отличаются от предыдущего случая. В Рекомендации МСЭ-R BS.1615 [10, табл. 17] приведено отношение  $C/P$ , равное 7,3 дБ (цифре 64 QAM мешает аналог с глубиной модуляции  $m=53\%$ ). Полагая величину  $C/P=7,3$  дБ достаточной, будем иметь в запасе над необходимым порогом для  $C/P \Delta C/P=23-7,3=15,7$  дБ. Это при стабильных, по существу лабораторных условиях. Но пороговые свойства цифрового сигнала требуют учета всех факторов, влияющих на действительную величину отношения  $C/P$ . Соберем их вместе.

Изменения ото дня ко дню в СВ-диапазоне имеют СКО 2–4 дБ (в худшие месяцы выше 5 дБ, см. пример на рис. 3), поэтому для иллюстративных расчетов примем умеренную величину изменений 3 дБ. Для вероятности потери времени приема 2% (надежность 98%) дополнительный запас уровня сигнала  $U(q)$ , как это показано в [2],  $U(q)=\sigma_d v(q)$ , где  $q$  – процент времени превышения порога,  $v(q)$  – соответствующая квантиль. Для нормального распределения 2%-я квантиль  $v(2)$  равна 2,05. И в этом случае запас на случайные изменения уровня полезного сигнала при  $\sigma_d=3$  дБ составит:  $U(1)=3 \times 2,05=6,15$  дБ. СКО отношения  $C/P$  теперь составит из  $\sigma_d=3$  дБ для полезного сигнала,  $\sigma_n=7,8$  дБ для ионосферной помехи (для СВ), а также из запаса на местное распределение, также подчиняющееся логнормальному закону с  $\sigma_M=3,7$  дБ [7]. Для отношения  $C/P$  по территории полезной зоны получим суммарное СКО для отношения  $C/P$ , равное  $\sigma_{C/P}=(\sigma_d^2+\sigma_n^2+\sigma_M^2)^{0,5}=(9+60,8+13,7)^{0,5}=9,14$  дБ, и необходимый запас над пороговым значением СКО  $U_{C/P}(q)$ , для потерь времени приема не выше 2% становится равным  $U_{C/P}(2)=9,14 \times 2,05 \approx 18,7$  дБ.

Эта простая иллюстрация безусловно не может отразить всех природных воздействий на принимаемый сигнал. Но учитывая, что каждый введенный фактор вполне понятен и в литературе критике не подвергается, полученный результат достаточно близок к реальности. Выше при стабильных условиях для  $C/P$  получен запас  $\Delta C/P=15,7$  дБ, в то время как в реальной жизни требуется  $U_{C/P}(2)=18,7$  дБ. Дефицит 3 дБ за большое время работы приведет в среднем к сокращению полезной зоны с 58 км примерно до 50 км.

Существует еще одно обстоятельство, которое желательно принять во внимание: это – сезонные изменения напряженности поля земной волны, т.е. полезного сигнала. Этот фактор приводится в ряде публикаций и отражен в Рекомендациях МСЭ-R P.368-9 и P.1321-2. Величина сезонных изменений, выражающаяся в снижении напряженности поля в летние месяцы в зависимости от географического положения трассы, частоты и протяженности может достигать 20 и более децибел. Приведенный анализ демонстрирует только природную сложность работы цифровой сети в темное время суток, а также то, что вопреки далеким ранним ожиданиям при пороговой системе вещания, чутко реагирующей на малейшее снижение под пороговый уровень, в рамках принятых входных величин возможность в течение года реализовать зону вещания, большую чем при аналоге пока не просматривается.

Следует подчеркнуть, что как бы ни была составлена средняя величина  $s_{C/P}$ , тот факт, что разнообразие отмеченных выше условий представляет широкий диапазон численных значений, всегда будут существовать (на долговременной

основе) значительно отличающиеся условия вещания как в лучшую, так и в худшую сторону от выбранных для оценки.

Улучшить положение можно, например, снизив требования к надежности цифрового вещания, обеспечивая не 98%, а, например, 95%. Но это вопрос к слушателям и к тем, кто платит деньги. Все, что учтено выше как статистические характеристики сигналов для цифровой передачи, одинаково относится и к аналоговым системам вещания. Реакция последних на эту статистику будет другой. Они их, попросту, почти не заметят. Уже ранее не раз отмечалось, что для аналога изменения уровня сигнала на  $\pm 10$  дБ — не вопрос. Если +10 дБ, то это еще лучше, а если -10 дБ, то это означает лишь снижение качества приема на 1 балл, но не полное пропадание приема, как при цифровой системе. В приведенном выше примере СКО имеет величину 9,14 дБ.

Теперь вместо аналогового мешающего передатчика установим цифровой с мощностью, сниженной на 7 дБ. Приходим к ситуации, когда и полезный и мешающий передатчик используют цифровую систему. Оба работают на одинаково сниженной мощности, и в соответствии с Рек. МСЭ-R BS.1615 этот вариант не должен отличаться от аналогичного аналогового, за исключением величин защитных отношений. Численно различия будут следующие.

Защитные отношения между двумя однотипными цифровыми сигналами с модуляцией 64QAM равны приблизительно 16 дБ [10, табл. 18] (в ряде документов предлагается цифра 17 дБ). При этом на границе полезной зоны, вычисленной в предыдущем случае ( $C/P=30$  дБ и  $R=58$  км), с учетом уменьшения мощности полезного передатчика на 7 дБ и уменьшения мощности мешающего передатчика на 7 дБ получим  $C/P=30-7+7=30$  дБ, т. е. начальное отношение  $C/P$  сохраняется неизменным. В данном случае при достаточной величине  $C/P$ , равной 16 дБ, будем иметь в запасе над необходимым порогом для  $C/P$  еще  $\Delta C/P=30-16=14$  дБ.

СКО быстрых замираний цифрового сигнала ниже, чем аналогового, о чем упоминается в ряде документов МСЭ-R. На это есть и физические резоны. Не отвлекаясь на детали, отметим, что реально это снижение составляет не менее 2 дБ. Общее СКО ионосферной помехи, вместе с медленными вариациями, изменится на меньшую величину, приблизительно на 1 дБ. Тогда в предыдущий пример необходимо внести следующие изменения: для СВ-диапазона вместо СКО ионосферного сигнала, равного 7,8 дБ, следует положить  $\sigma_{и}$  равным примерно 6,5 дБ, а для ДВ-диапазона — 5,3 дБ.

Теперь, как и в предыдущем случае, подсчитаем суммарное СКО для отношения  $C/P$  по территории полезной зоны, но с учетом снижения СКО ионосферной помехи. Получим  $\sigma_{с/п}=(\sigma_{д}^2+\sigma_{и}^2+\sigma_{м}^2)^{0,5}=(9+60,8\ 42,25+13,7)^{0,5}\approx 8$  дБ, и необходимый запас над пороговым значением СКО  $U_{с/п}(q)$ , для потерь времени приема не выше 2% становится равным  $U_{с/п}(2)=8\cdot 2,05\approx 16,4$  дБ. Это превышает полученную величину  $\Delta C/P=14$  дБ на 2,4 дБ и является по сути символически лучшим результатом, чем в предыдущем случае с аналоговой помехой (3 дБ).

Дефицит 2,4 дБ, как и 3 дБ, — величина небольшая, но важно, что при переходе от аналоговой полезной системы к цифровой ситуация в целом на годовом интервале в темное время суток может ухудшиться, а не улучшиться, не говоря уже о предполагавшемся ранее значительном увеличении полезных зон. Если при аналоговой помехе и цифровом полезном сигнале полезная зона сократилась с 58 до 50 км, то в данном случае при цифровой помехе она уменьшилась только до 53 км. Для сравнения можно отметить, что такое сокращение полезной зоны, сопровождающееся снижени-

ем напряженности поля на границе 58 км на величину около 3 дБ, аналоговая система, грубо говоря, просто не заметила бы, так как это приводит к снижению качества сигнала менее чем на 0,3 балла. Для цифрового сигнала такая вольность недоступна, — могут быть периоды полного пропадания приема на участке зоны дальше 53 км. Это теоретически. В реальной жизни, при огромном диапазоне изменений состояния ионосферы и влиянии климата на зону земной волны в отдельные периоды могут быть весьма значительные отклонения от описанных выше ситуаций как в лучшую сторону, так и в худшую. Но в среднем, можно полагать, что радикально картина не изменится и будет похожа на представленную выше.

**Кратко о других аналоговых системах.** Если при полезной цифровой системе в качестве мешающей рассмотреть не обычную систему с двумя боковыми полосами (АМ ДБП), а еще и с динамическим управлением несущей (АМ с ДУН), или систему с одной боковой (АМ ОБП) с сохранением средней излучаемой мощности, то нетрудно прийти к выводу, что защитные отношения для цифровой системы потребуются значительно более высокие. Не задерживаясь на обременительных вычислениях (необходимые исходные данные приведены в первой части работы [2]), отметим, что цифровая система будет еще больше проигрывать перед аналоговыми в зависимости от технических деталей на 4–7 дБ. Если названные аналоговые системы будут в роли полезных, то мешающая цифровая система будет иметь меньший мешающий эффект, примерно на такую же величину, что и проигрыш для цифровой системы в предыдущей ситуации. А это обеспечит аналоговым системам полезную зону большей величины.

Для строгого учета влияния сезонных изменений данных еще недостаточно, но, как отмечалось выше, величины летних снижений напряженности поля полезного земного сигнала в ряде климатических областей, как в дневное, так и в ночное время, могут достигать 10–15 дБ [2, 7]. Соответственно этому и размер ночной зоны или ее надежность при цифровом сигнале будут еще более снижены. В какой-то мере это коснется и аналоговых зон, но, скорее всего, с меньшими последствиями.

Упомянем еще полезные зоны по ионосферному сигналу. Случай редкий, но в российских условиях встречается. В отличие от случая зон по земной волне изменяются только величины статистических параметров. Появятся внутрисезонные замирания, СКО ото дня ко дню увеличится, но сезонные колебания изменят характер и не будут достигать больших величин. Без детальных расчетов можно сказать, что в целом величина зоны покрытия цифровым сигналом на годовом интервале при замене аналогового сигнала не увеличится, а в ряде случаев при глубоких длительных замираниях полезного сигнала может только уменьшиться.

**Один из самых трудных вопросов.** При внедрении цифровой системы в аналоговую среду МСЭ-R предписывает сокращать мощность вводимых цифровых передатчиков на 7 дБ для сохранения жизнеспособности работающих аналоговых передатчиков. Но на какую мощность ориентироваться при полном переходе на цифровую работу, пока ясности нет. Вариантов ответа может быть много: от сохранения той же мощности, что и до перехода на цифровую систему, до существенного пропорционального ее снижения вплоть до ограничения природными шумами работы самого маломощного из передатчиков мировой радиовещательной сети. Но в любом случае самый важный момент этой проблемы — на каком нижнем пределе мощности остановиться, чтобы для всех стран сохранить хотя бы те зоны, которые обеспечил План «Женева-75»? Это огромная работа, связанная с пере-

смотром всего Мирового Плана, а, может быть и с созданием совершенно нового. Об этом достаточно ясно сказано в документе Европейского Союза [11, раздел Заключение]. По вопросу пересмотра Плана «Женева-75» (уже прошли запланированные сроки) в нем говорится, что надо еще подождать, пока не станет яснее с цифровым вещанием, и при положительном результате можно подумать о создании нового Плана на цифровую систему. Это сказано в 2007 г.

**Иллюзии и реальность.** На мой взгляд, в среде старейших работников эфирного радиовещания иллюзий никто и не строил. Ночью всегда мешают другие станции. Но на первый взгляд из документов МСЭ-R казалось, что при рекомендуемом снижении мощности мешающего цифрового передатчика качество приема аналогового передатчика не изменится. Более того, учитывая меньшие защитные отношения между цифровыми передатчиками, предполагалось, что величина полезной зоны должна значительно вырасти. Но это только на первый взгляд, без расчетов, навскидку. Пороговые свойства полезного сигнала требуют всестороннего учета статистического поведения полезного и мешающего сигналов, да и характер помехи совсем другой. Статистическая сторона жизни цифрового сигнала среди живой природы всегда оставалась за кадром. Если этого как бы нет, то и все хорошо. Повидимому, именно такая позиция способствовала рождению у части специалистов необоснованных иллюзий.

Сейчас уже очевидно, что при рассмотрении работы цифровой системы на средних или длинных волнах от внимания специалистов не должна ускользать целая группа факторов, придающих поведению всех природных характеристик системы статистический характер. В такой ситуации мы вынуждены анализировать работу системы вещания по всей строгости вероятностных законов. И далеко не всегда результаты оказываются в пользу цифровой системы. Выше были продемонстрированы примеры применения такого подхода. План «Женева-75» создан с использованием критерия медианной напряженности поля, и у всех стран радиостанции обслуживают зоны, определенные этим планом. Цифровой передатчик при вхождении в аналоговую сеть попадает в ситуацию, где он не может обслуживать радиовещанием заданную территорию. Обеспечивая со снижением мощности на 7 дБ медианную величину напряженности поля на границе зоны, на уровне, не ухудшающем работу аналоговых станций, при реальной статистической природе поведения сигналов этот передатчик, грубо говоря, половину времени будет слышен, а половину времени — нет. Выше было показано, что есть факторы, смягчающие такое плачевное состояние, но только в некоторой мере, с трудом приближающей работу цифровой системы к работе аналоговой системы. Не считая мертвого пространства за порогом декодирования, чего у аналоговой системы принципиально не существует.

Дополнительно отметим, что в случаях, когда прием идет при заметной аналоговой помехе, ее замена на цифровой мешающий сигнал приведет к подавлению средних и высоких звуковых частот полезного аналогового сигнала (спектр цифрового сигнала плоский, а аналогового — спадающий к высоким частотам), и прием основной программы еще больше ухудшится.

**Заключение.** Проведенный краткий сравнительный анализ работы цифровой и аналоговой систем радиовещания подводит к выводу, что не использование до сих пор статистического подхода для оценки возможностей цифрового

радиовещания и ограничение представлений об этом только рамками результатов лабораторных исследований привело к весьма завышенным представлениям о возможностях цифрового вещания на средних и длинных волнах. Случайные и детерминированные изменения условий на радиотрассах от дня ко дню и в течение года при продолжительном времени работы цифровой системы реально приводят к резкому снижению ее надежности.

Возможно, все рассмотренное выше для светлого и темного времени суток способно показать, что в организации работы цифровой системы для любого времени суток существуют проблемы, решение которых не может быть обеспечено только техническими средствами. Это будет непомерно дорого. Необходимыми представляются дальнейшие глубокие исследования законов поведения цифровых сигналов в каналах длинных и средних волн в дневное и ночное время, на земле и в ионосфере, чтобы наилучшим образом использовать скрытые в каналах возможности. Рассмотренный в статье анализ призван в основном показать, что цифровые системы по сравнению с аналоговыми требуют более тщательного изучения.

Последнее время все чаще слышатся призыв «Даешь методику расчета для цифры!». Чтобы откликнуться на него, и сделать все достаточно обоснованно, надо еще многое узнать. Для этого требуется в первую очередь проведение экспериментальных исследований, охватывающих различные ситуации как минимум на годовом периоде и в существенно различающихся климатических зонах территории России. Но исследования в будущем все равно останутся актуальными: ведь год на год не приходится. Это известно уже сейчас.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Финальные акты Региональной Административной НЧ-СЧ Конференции по радиовещанию (1 и 3 Регионы). — Женева, 1975.
2. Цифровое радиовещание до 30 МГц. Часть 1. Длинные и средние волны. Светлое время суток // Электросвязь. — 2012. — №1.
3. **Gracely F.R.** Temperature Variations of Ground-Wave Signal Intensity at Standard Broadcast Frequencies // Proc. I.R.E. — April, 1949. — P. 360–363.
4. **Großkopf J.** Einfluss des Bodens auf die Bodenwellen-Ausbreitung, auf die Raumwellen-Abstrahlung und auf das Empfangsfeld // Rundfunktech. Mitt. — 1968. — Vol. 12. — №1. — P. 14–22.
5. **Захаренко В.Н.** Влияние вариаций электропроводности подстилающей поверхности на амплитуду напряженности поля земной волны диапазонов СВ и ДВ // Электросвязь. — 1992. — №1. — С. 34–35.
6. МСЭ-R. Док. 9C/17, февраль 2000. The climatic control of intensity of a field strength terrestrial wave on communication lines in an mF band, Росс. Федерация.
7. МСЭ-R. Рек. P.1321-2. Факторы распространения радиоволн, влияющие на системы, использующие методы цифровой модуляции на НЧ и СЧ.
8. **Spaulding A.D.** Fading Signals in the MF Band, U.S. Department of Commerce Malcolm Baldrige, Secretary, June 1982.
9. **Виленский И.М., Ямпольский В.С.** Распространение средних радиоволн в ионосфере. Изд. Наука, Сибирское отделение. — Новосибирск. — 1988. — 120 с.
10. МСЭ-R, Рек. BS.1615. “Planning parameters” for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz.
11. СЕПТ, Док. FM PT45(07)039, Копенгаген, 18–19 июня 2007.

Получено 20.01.12  
Окончание см. ЭС, №3