

УДК 621.396.

О ПРИЕМЕ НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

М. Г. Локшин, начальник лаборатории ФГУП НИИР д. т. н., lokshin@niir.ru

*«Скорость каравана определяется
скоростью самого ленивого верблюда»
Восточная мудрость*

Ключевые слова: приемные системы, цифровое наземное телевидение, антенна, вероятность мест приема.

Телевизионное вещание и телевизионная индустрия промышленно развитых стран мира уже полностью вовлечены в необратимый процесс перехода к цифровым технологиям. При этом особое внимание уделяется культуре приема ТВ сигнала. Как известно, цифровые сигналы, по сравнению с аналоговыми, более защищены от помех. Однако даже незначительное ослабление напряженности поля радиопередающей станции (РПС) ниже определенного порога приводит к прекращению приема ТВ сигнала.

Осуществив переход на цифровое вещание в нашей стране, можно столкнуться с ситуацией, когда в большом числе населенных пунктов телезрители аналогового вещания не смогут принимать ТВ программы. Чтобы избежать столь печальных последствий перехода на новые технологии, необходимо предусмотреть ряд мер. Среди них — выбор параметров РПС, обеспечивающих оптимальный охват населения ТВ вещанием. Но это позволяет решить лишь половину задачи; понадобится также привести в порядок приемную сеть наземного телевидения — самое инерционное звено всей сети вещания нашей страны.

Введение. В развитых зарубежных странах передающие наземные сети ТВ вещания построены так, что зоны обслуживания РПС соседних городов взаимно пересекаются. В условиях достаточного частотного ресурса это не приводит к взаимным помехам и обеспечивает устойчивое сплошное покрытие территории ТВ вещанием. В России передающая сеть построена таким образом, что существенная часть населенных пунктов оказалась вне зоны гарантированного обслуживания, при аналоговом вещании в большом числе таких пунктов население смотрит ТВ программы, хотя и с пониженным качеством. В диапазоне дециметровых волн (ДМВ) ситуация хуже. В СССР места размещения мощных РПС были выбраны, исходя из задачи охвата населения ТВ программами в диапазоне метровых волн (МВ). Впоследствии на этих же РПС устанавливались передатчики диапазона ДМВ, но зоны их обслуживания естественно оказались существенно меньше зон обслуживания передатчиков диапазона МВ. Поскольку внедрение цифрового телевидения в наземной сети (особенно в переходный период) планируется в диапазоне ДМВ, обеспечение практически полного охвата населения цифровым телевидением становится весьма проблематичным.

При создании наземной сети цифрового телевидения планируют сохранить существующую инфраструктуру передающей телевизионной сети. Там же, где это потребует, предусматривается строительство дополнительных станций малой мощности или организация одночастотных сетей, что позволит избежать проблем с приёмом цифрового телевидения. Основные сложности возникнут в зонах обслуживания действующих мощных станций, особенно тех, которые транслируют наиболее популярные у большинства

населения программы в диапазоне метровых волн. В публикуемой ниже статье поясняются решения, позволяющие устранить трудности, которые возникнут при внедрении цифрового наземного телевидения в нашей стране.

В наземной сети прием ТВ сигналов телевидения осуществляют в сетях коллективного приема, на установки индивидуального пользования и на установки непосредственного приема спутникового телевидения. В городах и крупных населенных пунктах, где развиты (должны быть организованы) широкополосные кабельные многофункциональные системы массового обслуживания, трудностей с приемом цифрового телевидения ожидать не следует. Непосредственный прием цифрового телевидения со спутников также технически хорошо организован. Наибольшие проблемы возникнут при индивидуальном приеме сигналов наземных эфирных РПС, который применяет большая часть населения страны, тем более что эфирное телевидение сохранит свои позиции основного источника социально значимой информации для населения ещё на долгие годы. Серьёзность затронутого вопроса заключается ещё и в том, что индивидуальный приём наиболее распространён в населенных пунктах, достаточно удаленных от мощных РПС, где уровень принимаемого сигнала невелик, а число абонентов значительно.

Зона обслуживания. Расчетной зоной обслуживания называют территорию, в пределах которой (с определенной вероятностью) обеспечивается нормируемое значение напряженности поля $E_{\text{мин}}$, гарантирующее качественный прием. При цифровом телевидении качество приема не обсуждается: приём или есть (с высоким качеством), или его нет. В случае аналогового телевидения правомерно говорить о реальной зоне приема, поскольку она, как правило, заметно больше расчетной зоны обслуживания по следующим причинам. Первая связана с расчетом зон обслуживания при планировании наземной передающей сети республик СССР, когда ориентировались на значения напряженности поля, требуемые для приема на телевизоры производства 60-х годов. Так, $E_{\text{мин}}$ в диапазоне ДМВ были вычислены в предположении коэффициента шума телевизора N равного 12 дБ, тогда как современные модели имеют N не хуже 8 дБ. Поэтому реальные зоны приема, как правило, существенно превышают расчетные зоны обслуживания.

Вторая причина обусловлена принципом построения передающей сети СССР, когда достаточно большое число населенных пунктов оказались вне пределов расчетных зон обслуживания РПС. Тем не менее в них все же принимают аналоговые программы телевидения, правда, с качеством хуже гарантируемого. Практика показывает, что население не утрачивает интереса к регулярному просмотру ТВ программ даже в случае, если $E_{\text{мин}}$ снижается более чем на 7,5 дБ относительно нормируемого значения. Таким образом, реализуя поставленную задачу — не потерять аудиторию телезрителей при переходе к цифровому телевидению

нию — нужно планировать охват социальным мультиплексом той же территории, где население реально принимает наиболее важные для них программы.

Напряженность поля. Размеры зон обслуживания при планировании определяют расчетным путем, исходя из нормируемого значения напряженности поля, технических характеристик типовых приемных установок индивидуального пользования и параметров конкретной РПС. Для современных телевизоров аналогового телевидения значения отношения сигнал-шум (С/Ш), обеспечивающее удовлетворительное качество приема изображения, равно 35,8 дБ. Нормируемое для сигнала цифрового телевидения С/Ш находится в пределах от 6 до 24 дБ (в зависимости от параметров модуляции сигнала). При модуляции сигнала с параметрами 64-QAM, скорости внутреннего кодирования 5/6 и защитном интервале не более 1/8 (позволяет передачу с чистой битовой скоростью 27,65 Мбит/с) требуемое С/Ш = 22,7 дБ, что значительно меньше соответствующего значения для аналогового телевидения. Но нужно учесть следующее.

Во-первых. Эффективная ширина полосы шумов цифрового телевизора (7,8 МГц) больше, чем аналогового (5,5 МГц). Соответственно, напряжение собственных шумов $U_{ш}$, приведенное ко входу аналогового телевизора, будет на 1,5 дБ меньше $U_{ш}$ цифрового телевизора (предполагается, что оба телевизора собраны на одинаковой элементной базе).

Во-вторых. При аналоговом телевидении на границе зоны обслуживания нормируют минимальное медианное значение напряженности поля $E_{мед}$. При этом в местах, где напряженность поля будет на 7,5 дБ меньше этого значения, сохранится возможность приема с качеством, при котором население ещё не утрачивает интереса к повседневному просмотру программ. Такое значение E обеспечивается в 80 % мест приёма на границе зоны обслуживания.

Таблица 1

Параметр	Значение параметра							
	Метровый				Дециметровый			
Режим вещания	Аналог		Цифра		Аналог		Цифра	
Границы диапазона, МГц	174	230	174	230	470	862	470	862
$K_{ш}$, дБ	7	7	7	7	7	7	7	7
$U_{ш}$, дБ (мкВ)	9,5	9,5	11	11	9,2	9,2	10,7	10,7
$U_{мин}$, дБ (мкВ)	45,3	45,3	33,7	33,7	45,1	45,1	33,4	33,4
Усиление приемной антенны G_A , дБд	7	7	7	7	9	13	9	13
$\eta_{ф пр}$, дБ	2	2	2	2	3	5	3	5
$20 \lg 2 \pi/\lambda$	11,3	13,4	11,3	13,4	19,8	25,1	19,8	25,1
$E_{мин}$ для регулярного приема, дБ (мкВ/м)	44,1	46,2	40	42,1	51,2	54,7	47,2	50,5
$E_{мед}$, обеспечивающая прием в 80 % мест на границе зоны обслуживания	51,6	53,7	45	47,1	58,9	62,2	52,2	55,5

Таблица 2

Параметр	Значение параметра для каналов			
	6	12	21	69
$G_{A пр}$, дБд	6	9	7	15
$\eta_{ф пр}$, дБ	2	2	3	5
$E_{исп} = E_{мин} + 9$, дБ (мкВ/м)	50,1	49,2	58,3	57,5
$E_{мин}$, дБ (мкВ/м), при ЭИМ = 1 кВт	43,8	43,2	41,5	40,2
Требуемая ЭИМ, дБ (кВт)	6,3	6	16,8	17,3
$G_{A пер}$, дБд	10	10	12,6	12,6
$\eta_{ф пер}$, дБ	1	1	1,16	1,56
$P_{пер}$, кВт	0,536	0,5	3,44	4,23

Чтобы обеспечить такой же охват при цифровом телевидении, нужно увеличить $E_{мед}$ на 5 дБ относительно минимального необходимого значения.

В табл. 1 приведены данные расчета значений $E_{мин}$ и $E_{мед}$ при аналоговом и цифровом вещании, обеспечивающие вероятность приема телевидения в 80 % мест на границе зоны обслуживания. Значения потерь фидера $\eta_{ф пр}$, коэффициенты шума телевизора и усиления приемных антенн соответствуют значениям, приведенным в документе МСЭ [1].

Как видно из данных табл. 1, передатчик цифрового телевидения (при указанных параметрах модуляции сигнала) может обслуживать такую же зону, как и передатчик аналогового телевидения, и с той же вероятностью приёма (в 80 % мест на границе зоны обслуживания), если его номинальная мощность в 2,2 раза меньше мощности аналогового передатчика.

Из данных табл. 1 видно также, что требуемые значения E на верхних частотах диапазона практически вдвое превосходят соответствующие значения на нижних частотах. Это может создать большие трудности при планировании, когда нужно обеспечить равные зоны обслуживания передатчиков разных частотных каналов, что особенно важно при распространении социальных мультиплексов. Если вблизи границ зоны обслуживания применять приемные антенны с усилением антенны G_A , значительно увеличивающимся с ростом частоты, то, как видно из данных табл. 2, передатчики практически равной мощности, вещающие на граничных частотных каналах каждого диапазона волн, будут иметь примерно равные зоны обслуживания. (В табл. 2 в качестве примера приведены результаты расчета мощности передатчиков разных частотных каналов $P_{пер}$, требуемой для обслуживания зоны радиусом 45 км при высоте подъёма передающих антенн 150 м с параметрами модуляции сигнала 64-QAM-5/6).

Вероятность приема по местоположению. Наземную сеть цифрового ТВ вещания возможно спланировать так, чтобы зоны обслуживания не были меньше реальных зон приема сигналов передатчиков аналогового вещания соответствующей мощности.

На рис. 1 графически представлены результаты исследований условий распространения (распределение напряженности поля по месту) сигналов цифрового телевидения [2]. Из графика видно, что если на границе зоны обеспечивается $E_{мед}$ равно $E_{мин}$, то в половине мест приёма не будет вообще. Поэтому сети наземного цифрового ТВ вещания

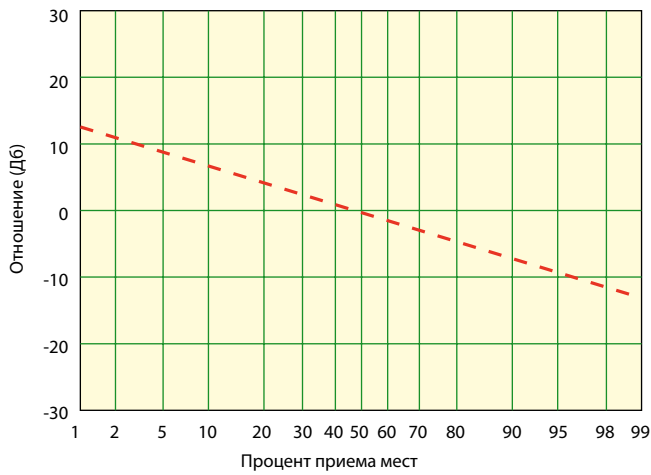


Рис. 1

планируют с учетом порогового эффекта приема сигналов так, чтобы $E_{мед}$ на границе расчетной зоны обслуживания было больше $E_{мин}$ на величину, соответствующую выбранному значению процента защищаемых мест приема. Другими словами, чтобы обеспечить вероятность приема в 95% мест на границе зоны обслуживания нужно принять $E_{мед}$ на 9 дБ больше $E_{мин}$, соответственно для вероятности приема 70% мест — на 2,9 дБ.

Правомерен вопрос: всегда ли нужно при переходе к цифровому телевидению стремиться к вероятности приема в 95% мест на границе зоны обслуживания? Представляется разумным при планировании реальных сетей учитывать распределение плотности населения вблизи границ зоны обслуживания в каждом конкретном случае.

На рис. 2 представлены данные о распределении численности населения в пределах зон обслуживания в некоторых мегаполисах России.

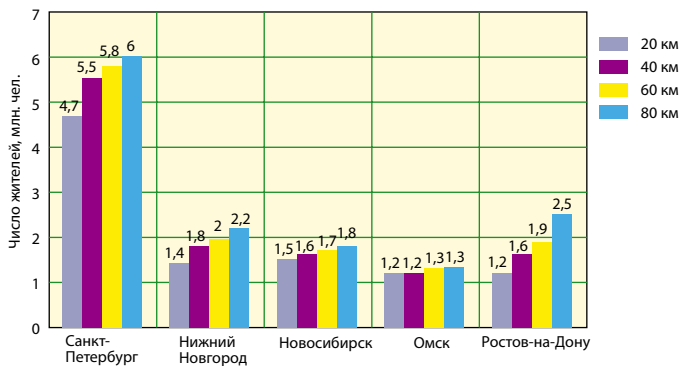


Рис. 2

Из рисунка видно, что для РПС Омска и Новосибирска при увеличении радиуса зоны обслуживания R_0 с 40 до 80 км охват населения ТВ вещанием увеличивается незначительно, а для РПС Ростова-на-Дону такое увеличение R_0 становится эффективным. Поэтому в некоторых случаях может оказаться допустимым ограничиться требованием охвата гарантированным приемом, например, 70% мест на границе зоны обслуживания. Тогда (по сравнению со случаем охвата 95% мест) можно будет уменьшить необходимое значение ЭИМ на 6 дБ (вчетверо). При этом в тех населенных пунктах на границе зоны обслуживания, где E окажется недостаточной для качественного приема сигналов цифрового телевидения, можно будет применить усовершен-

Таблица 3

Тип модуляции	С/Ш, дБ	Частота, МГц	$E_{мин}$, дБ (мкВ/м)	$G_{Апер}$, дБд	$P_{пер}$, кВт	R_0 , км
Аналог	35,8	200	51,5	10	1	50
					5	65
	28,3	500	57	12,6	1	42
					5	53
	14,1	200	44	10	1	66
					5	83
22,7	500	49,5	12,6	1	54	
				5	68	
16-QAM; 2/3 14,75 Мбит/с	14,1	200	43,1	10	1	70
					5	88
64-QAM; 5/6 27,65 Мбит/с	22,7	500	47,1	12,6	1	61
					5	76
64-QAM; 5/6 27,65 Мбит/с	22,7	200	51,7	10	1	52
					5	66
64-QAM; 5/6 27,65 Мбит/с	22,7	500	55,7	12,6	1	46
					5	58

ствованные приемные установки. В ряде случаев решением проблемы станет организация непосредственного приема сигналов со спутникового ретранслятора. При этом стоимость индивидуальной установки будет соизмерима со стоимостью многоэлементной приемной антенны с усилителем.

Для расширения зоны обслуживания передатчиков цифрового телевидения возможен следующий вариант. Если имеется частотный ресурс, позволяющий на данной РПС ввести в действие два передатчика диапазона ДМВ, то социальный мультиплекс можно разделить на два пакета и каждый из них передавать посредством одного из этих передатчиков. Известно, что для передачи потока в 27,65 Мбит требуется режим модуляции 64-QAM-5/6. Если этот поток разделить на два, по 14,75 Мбит, их передачу можно осуществить при параметрах модуляции сигнала 16-QAM-2/3. По сравнению с вариантом передачи всего потока через один передатчик, второй вариант позволяет снизить требуемое значение $E_{мин}$ на 8,6 дБ, или соответственно уменьшить мощность передатчика в 7 раз. В табл. 3 приведены значения R_0 при высоте подъема передающей антенны 180 м (значения других параметров указаны в таблице).

Из данных таблицы видно, что при модуляции сигнала 64-QAM-5/6 цифровой передатчик способен охватить зону, равную лишь зоне, в пределах которой аналоговый передатчик такой же мощности (того же диапазона) обеспечивает прием программ с гарантированным качеством.

При параметрах модуляции 16-QAM-2/3 цифровой передатчик мощностью 5 кВт обеспечит прием с вероятностью охвата 95% мест на границе той же зоны, в пределах которой население может регулярно принимать с пониженным качеством (отношение С/Ш = 28,3 дБ) программы аналогового телевидения, транслируемые передатчиком этого же диапазона и такой же мощности. Если ставится задача охвата цифровым телевидением зоны, в пределах которой обеспечивается прием сигналов аналогового передатчика

с гарантированным качеством (отношение С/Ш = 35,8 дБ), то она решается путем применения цифрового передатчика, работающего в том же диапазоне волн, но с мощностью в 5 раз меньшей мощности аналогового передатчика.

Приемные установки. Качество приема ТВ сигнала, а следовательно размеры зон обслуживания во многом зависят от того, какие приемные установки применяет телезритель. Чтобы сохранить возможность приема сигналов цифрового телевидения, особенно в дециметровом диапазоне волн, вблизи границ зон приема сигналов передатчиков аналогового телевидения в ряде случаев потребуются установки антенн более сложных конструкций (сдвоенных, больших геометрических размеров или снабженных антенными усилителями сигналов).

Вычислить значение напряженности поля, при котором допустимо использование конкретной приемной антенны, можно по формуле:

$$E_{\text{мин}} = U_{\text{мин}} - G_{\text{А пр}} + \eta_{\text{ф пр}} + 20 \lg 2 \pi / \lambda = K - G_{\text{А пр}}, \text{ дБ (мкВ/м)},$$

где $U_{\text{мин}}$ — минимально требуемое значение напряжения сигнала на входе телевизора, дБ (мкВ), $G_{\text{А пр}}$ — коэффициент усиления приемной антенны относительно полуволнового вибратора, дБд, $\eta_{\text{ф пр}}$ — значение потерь фидера снижения приемной антенны, дБ, $K = U_{\text{мин}} + \eta_{\text{ф пр}} + 20 \lg 2 \pi / \lambda$.

Соответственно, зная значение $E_{\text{мин}}$, можно вычислить $G_{\text{А пр}}$ антенны, которую следует применить для приема в конкретном пункте:

$$G_{\text{А}} = K - E_i, \text{ дБд}$$

где E_i — наименьшее значение напряженности поля, измеренное в данном населенном пункте.

Когда $E_{\text{мин}}$ меньше необходимого значения примерно на 3 дБ, прием сигналов можно обеспечить, применяя сдвоенные диапазонные антенны (антенные конструкции из двух полотнов) или одно полотно длиной около трёх метров. Большой выигрыш обеспечивает применение антенного усилителя. Распространенное мнение, что, укомплектовав приемную антенну усилителем с высоким $G_{\text{А пр}}$, можно решить все проблемы приема в местах с малыми значениями E , справедливо лишь при соблюдении ряда условий.

Эффект от применения антенного усилителя с разными значениями коэффициента шума $N_{\text{А}}$ и усиления $K_{\text{А}}$ иллюстрирует табл. 4; результаты расчетов значений $E_{\text{мин}}$, требуемых для приема сигналов цифрового телевидения с параметрами 64-QAM-5/6, получены для частоты 600 МГц в предположении применения антенны с $G_{\text{А пр}} = 12$ дБд и фидера снижения антенны с $\eta_{\text{ф}} = 4$ дБ.

Расчеты показывают, что применение даже простейшего антенного усилителя (вариант 1) позволяет снизить значение $E_{\text{мин}}$ почти на 7 дБ по сравнению с базовым вариантом.

Таблица 4

Вариант	$N_{\text{А}}$, дБ	$K_{\text{А}}$, дБ	$E_{\text{мин}}$, дБ (мкВ/м)
Базовый Без усилителя	—	—	48,3
1 С усилителем	5	20	41,5
2 С усилителем	3	20	39,6
3 С усилителем	5	30	41,3
4 С усилителем	3	30	39,3

Применение антенного усилителя дает существенный эффект, если он размещён непосредственно на приёмной антенне и его $N_{\text{А}}$ значительно меньше коэффициента шума самого телевизора. Выигрыш при улучшении характеристик приемной установки прямо пропорционален уменьшению $N_{\text{А}}$, снижению потерь фидера и увеличению $K_{\text{А}}$; увеличение $K_{\text{А}}$ свыше 20 дБ нецелесообразно, поскольку не приводит к ощутимым результатам (сравним варианты 1 и 3 или 2 и 4).

Заключение. Технические характеристики приёмных установок, находящихся в эксплуатации у населения, существенно влияют на возможность приёма цифрового телевидения вблизи границ зон обслуживания передающих станций наземной сети. Необходимо обеспечить выпуск и поставку в торговые сети приёмных антенн индивидуального пользования с улучшенными характеристиками и возможностью приобретения их в соответствии с рекомендациями, которые могли бы давать на местах специалисты РТРС или органов радиочастотной службы. Представляется целесообразным создание службы, которая на коммерческой основе оказывала бы населению услуги по установке приёмных антенн с требуемыми в данной конкретной обстановке техническими характеристиками, либо выдавала рекомендации по их приобретению.

Необходимо, наконец, решить, вопрос о нормировании значений коэффициента шума телевизоров и цифровых приставок к аналоговым телевизорам и соответственно контролировать этот показатель при сертификации оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резолюции первой сессии Региональной конференции радиосвязи по планированию цифровой наземной радиовещательной службы в частях Районов 1 и 3 в полосах частот 174—230 МГц и 470—862 МГц. — Женева, 10—28 мая 2004 г.
2. Рекомендация МСЭ-R ВТ.1368—6. Критерии планирования наземных цифровых телевизионных систем в ОВЧ/УВЧ диапазонах.
3. Локшин М. Г. Проблемы построения наземных сетей цифрового телевидения // Электросвязь. — 2007. — № 3.

Получено 4.08.09

ИНФОРМАЦИЯ

GREEN TOUCH: КОММУНИКАЦИИ СТАНОВЯТСЯ «ЗЕЛеныМИ»

11 января 2010 г. под эгидой Лабораторий Белла (Bell Labs) сформирован глобальный консорциум Green Touch, цель которого — создание технологий, способных в 1000 раз повысить энергетическую эффективность коммуникационных сетей по сравнению с сегодняшним уровнем. Это означает, что энергии, которая сегодня расходуется за один день, чтобы обеспечить работу всех мировых коммуникационных сетей, будет достаточно для их работы примерно в течение трех лет.

Основателями консорциума Green Touch стали ведущие операторы связи (AT&T, China Mobile, Portugal Telecom, Swisscom, Telefonica); академические исследовательские лаборатории, государственные и некоммерческие исследовательские институты, отраслевые лаборатории, в том числе Bell Labs, Институт современных технологий компании Samsung (SAIT), Freescale Semiconductor.

Решение проблемы тысячекратного увеличения энергоэффективности основано на исследованиях Bell Labs, которые показали, что современные сети способны работать в 10 тыс. раз эффективнее, чем сегодня. В течение пяти лет консорциум Green Touch разработает типовую сетевую архитектуру и продемонстрирует ключевые компоненты, необходимые для реализации задачи. Компании, желающие вступить в консорциум, могут обратиться на сайт www.greentouch.org.