

УДК 621.396.6:621.397

А.С. Попов

Применение методов Окамура-Хата и Введенского для расчета зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков

Предложен способ расчета напряженности поля цифровых телевизионных передатчиков и представлен сравнительный анализ формул для расчета напряженности поля цифрового телевизионного передатчика. Рассчитаны скорости передачи данных системы DVB-T. Проведен анализ данных, полученных экспериментальным путем.

Ключевые слова: цифровое телевидение, телевизионный передатчик, напряженность поля, метод Окамура-Хата, формула Введенского, DVB-T.

Для выполнения задачи по охвату населения регионов вещанием цифрового пакета телевизионных программ сеть цифрового наземного вещания должна обеспечить цифровое эфирное вещание по стандарту DVB-T [1] с формированием зон обслуживания при заданном уровне напряженности поля. Рассчитать выходную мощность передатчика можно несколькими методами.

Основные параметры, характеризующие передачу данных в системе DVB-T, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры системы DVB-T

Параметр	Режим	
	2k	8k
Число несущих, N	1705	6817
Число полезных несущих, n	1512	6048
Длит-ть полезного инт-ла T_u , мкс	224	896
Длит-ть защитного инт-ла T_g , мкс	56, 28, 14, 7	224, 112, 56, 28
Интервал между несущими, Гц	4464	1116
Интервал между крайними несущими, МГц	7,61	7,61
Модуляция несущих	QPSK, 16-QAM, 64-QAM	QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Скорость внутреннего кода	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8

В системе DVB-T число «несущих», передающих полезную информацию, зависит только от режима и равно 1512 для режима 2k и 6048 для режима 8k. Зная величину длительности полезного интервала (T_u) и число полезных несущих, определим скорость передачи символов (RS) для режимов 2k и 8k:

$$RS = \frac{n}{T_u} = \frac{1512}{224 \cdot 10^{-6}} = \frac{6048}{896 \cdot 10^{-6}} = 6,75 \text{ Мегасимвол/с} \quad (1)$$

Далее проведем расчет скорости передачи данных для разных режимов и при различных сочетаниях параметров системы DVB-T:

$$RSU = RS \cdot b \cdot CR \cdot CRRS \cdot \frac{T_u}{T_g + T_u}, \quad (2)$$

где b – количество битов, передаваемых в одном символе с помощью одной несущей; CR – скорость внутреннего кода; $CRRS$ – скорость внешнего кода Рида-Соломона, равная 188/204; T_g – длительность защитного интервала символа.

Следовательно, в системе DVB-T скорость передачи полезных данных может меняться в значительных пределах: от 4,98 до 31,67 Мбит/с (это перекрывает весь диапазон потребностей, начиная с телевидения стандартной четкости и заканчивая телевидением высокой четкости). Самое малое значение скорости 4,98 Мбит/с, имеющее место при модуляции несущих типа QPSK и скорости внутреннего кода, равной 1/2, характеризуется самой высокой помехозащищенностью системы передачи (для практически безошибочной работы достаточно отношение сигнал/шум в Райса канале всего 3,6 дБ). Но для достижения скорости 31,74 Мбит/с (модуляция несущих 64-QAM и скорость внутреннего кода 7/8) должно быть обеспечено отношение сигнал/шум не менее 21 дБ [1].

Имея в составе первого мультиплекса 8 телевизионных программ и 3 радиoproграммы, для стандарта MPEG-4 определим минимальную скорость транспортного потока:

$$S = \bar{S}_{TB} + \bar{S}_{PB} = 8 \cdot 2,4 + 3 \cdot 0,256 = 19,968 \text{ Мбит/с.} \quad (3)$$

Сравнивая полученную скорость транспортного потока с данными табл. 2, можно сделать вывод о возможности использования стандарта компрессии MPEG-4 H.264/AVC для вещания 8 телевизионных программ и 3 радиоканалов, входящих в состав первого мультиплекса наземной сети цифрового телерадиовещания.

Сопоставляя полученную скорость транспортного потока с заданными значениями, определяем оставшиеся варианты режимов модуляции, которые могут обеспечить передачу первого мультиплекса.

Возможные варианты скорости передачи данных системой DVB-T первого мультиплекса представлены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты скорости передачи данных системы DVB-T для первого мультиплекса

Модуляция	CR	C/N, дБ (Райса канал)	Скорость передачи данных, Мбит/с. Вариант для 8 МГц (Россия)			
			Tg/Tu=1/4	Tg/Tu=1/8	Tg/Tu=1/16	Tg/Tu=1/32
16-QAM	5/6	14,4	–	–	–	20,11
16-QAM	7/8	15	–	–	20,49	21,11
64-QAM	2/3	17,1	–	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	18,6	22,39	22,12	26,35	27,14
64-QAM	5/6	20	24,88	24,88	29,27	30,16
64-QAM	7/8	21	26,13	27,65	30,74	31,67

При расчете выходной мощности учитываем параметры питающего фидера, тип используемых передающих антенн, а также их коэффициент усиления и диаграммы направленности. Все передающие станции планируется оснастить многоэтажными антеннами с круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости, с коэффициентами усиления 9 дБ, в вертикальной плоскости должен обеспечиваться необходимый наклон по углу места.

Расчет выходной мощности передатчиков проведем согласно рекомендации МСЭ-R 1546-3, с использованием метода Окамура-Хата [2].

Метод Окамура-Хата описывает особенности распространения радиоволн над квазиплоской местностью и не учитывает особенности рельефа. Распространение основных лучей от передающей станции происходит выше крыш строений.

Уравнение Окамура-Хата для напряженности поля имеет следующий вид

$$E_{\text{мед}} = 39,82 + P_{\text{ЭИМ}} - 6,16 \log f + 13,82 \log h_1 + a(h_2) - (44,9 - 6,55 \log h_1) \cdot (\log R)^b, \quad (4)$$

где $P_{\text{ЭИМ}}$ – эффективная излучаемая мощность передатчика (ЭИМ), дБ Вт; f – частота излучения передатчика; h_1 – высота подвеса антенны передатчика над поверхностью земли; h_2 – высота подвеса антенны приемника над поверхностью земли; $a(h_2)$ – поправочный коэффициент на высоту приемной антенны; R – радиус зоны покрытия; b – коэффициент, расширяющий действие модели для протяженности трассы.

Для определения эффективной излучаемой мощности передатчика, уравнение Окамура-Хата принимает следующий вид [2]:

$$P_{\text{ЭИМ}} = E_{\text{мед}} - 39,82 + 6,16 \log f - 13,82 \log h_1 - a(h_2) + (44,9 - 6,55 \log h_1) \cdot (\log R)^b, \quad (5)$$

В качестве сравнительного анализа по формуле Б.А. Введенского определим мощность радиопередатчиков, обеспечивающих требуемое значение напряженности поля в пределах зоны прямой видимости.

Формула Б.А. Введенского для определения напряженности поля имеет следующий вид [3]:

$$E_m = \frac{\sqrt{60P \cdot D} \cdot 4\pi \cdot h_1 \cdot h_2}{r^2 \cdot \lambda}, \quad (6)$$

где P – мощность передатчика, D – коэффициент усиления антенны относительных единиц; E_m – минимальная напряженность поля; r – радиус зоны покрытия; λ – длина волны рабочей частоты передатчика; h_1 – высота передающей антенны; h_2 – высота приемной антенны.

Для нахождения мощности передатчика формула может быть представлена в виде

$$P = \frac{(E_m \cdot \lambda \cdot r^2)^2}{960D \cdot (\pi \cdot h_1 \cdot h_2)^2} \quad (7)$$

Используя выражение (7), а также учитывая затухание в питающих фидерах, вычислим значения выходной мощности различных передатчиков с определенными параметрами (частота излучения, высота подвеса и т.п.). Результаты расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов выходной мощности телевизионных передатчиков по методам Окамура–Хата и Введенского

Условное название передатчика	Высота АМС, м	R, км	$P_{\text{ЭИМ_Хата}}$, Вт	$P_{\text{ЭИМ_Введ}}$, Вт	$P_{\text{ЭИМ_Введ}}/P_{\text{ЭИМ_Хата}}$
Передатчик №1	80	35	900	1851	2,057
Передатчик №2	80	35	900	1851	2,057
Передатчик №3	60	25	441	963	2,184
Передатчик №4	40	20	385	795	2,065
Передатчик №5	50	23	444	940	2,117
Передатчик №6	60	25	441	963	2,184
Передатчик №7	70	28	435	961	2,209
Передатчик №8	192	40	338	785	2,322
Передатчик №9	70	28	435	961	2,209
Передатчик №10	37	12	78	170	2,179
Среднее арифметическое значение:					2,157 \approx 2,16

С учетом того, что метод Окамура–Хата рекомендован Международным союзом электросвязи, за основу берем значения мощности передатчиков, рассчитанные этим методом.

Таким образом, в случае распространения радиоволн над квазиплоской поверхностью Земли формула Введенского может быть использована, но при этом требуется введение поправочного коэффициента $m=2,16$.

В этом случае для определения напряженности поля над квазиплоской поверхностью земли, с учетом поправочного коэффициента и затухания в питающем фидере, формула Введенского принимает следующий вид:

$$E_m = \frac{\sqrt{60P \cdot D \cdot m \cdot 4\pi h_1 \cdot h_2}}{r^2 \cdot \lambda \cdot \sqrt{a_c}} \quad (8)$$

где $m = 2,16$ – поправочный коэффициент; a_c – затухание в питающем фидере в относительных единицах.

Следовательно, формула Введенского остается актуальной для расчета зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков.

В рамках исследования был проведен эксперимент по измерению уровня электромагнитного поля. Задачей эксперимента являлись определение реальной зоны уверенного приема передатчика мощностью 100 Вт в цифровом режиме и оценка качества принимаемых программ.

В качестве передающего оборудования использовался DVB-T-передатчик TTUD100 производства компании «Микротек». Контроль за качеством и уровнем сигнала осуществлялся анализатором спектра ETL фирмы Rohde & Schwarz. Прием производился на антенну с коэффициентом усиления $K_y = 4$ дБ, закрепленную на штанге высотой 4 м.

Передающая антенна с высотой подвеса 180 м имела коэффициент усиления 9 дБ, фидер диаметром 1 5/8 дюйма.

В качестве испытательного сигнала подавался транспортный поток из четырех телевизионных программ со скоростью 24 Мбит/с. Оптимальным режимом для передачи такого сигнала, обеспечивающим уверенный прием, был выбран режим модуляции 64-QAM с относительной скоростью кодирования 2/3 и защитным интервалом 1/32.

На рис. 1 представлены расчетные и экспериментальные графики зависимости напряженности электромагнитного поля от расстояния.

Из графика видно, что рассчитанные и измеренные значения уровня электромагнитного поля достаточно схожи, чтобы утверждать, что метод Окамура–Хата пригоден для расчета зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков. То же можно утверждать и

относительно метода Введенского с условием, что в расчетах будет учитываться поправочный коэффициент $m = 2,16$.

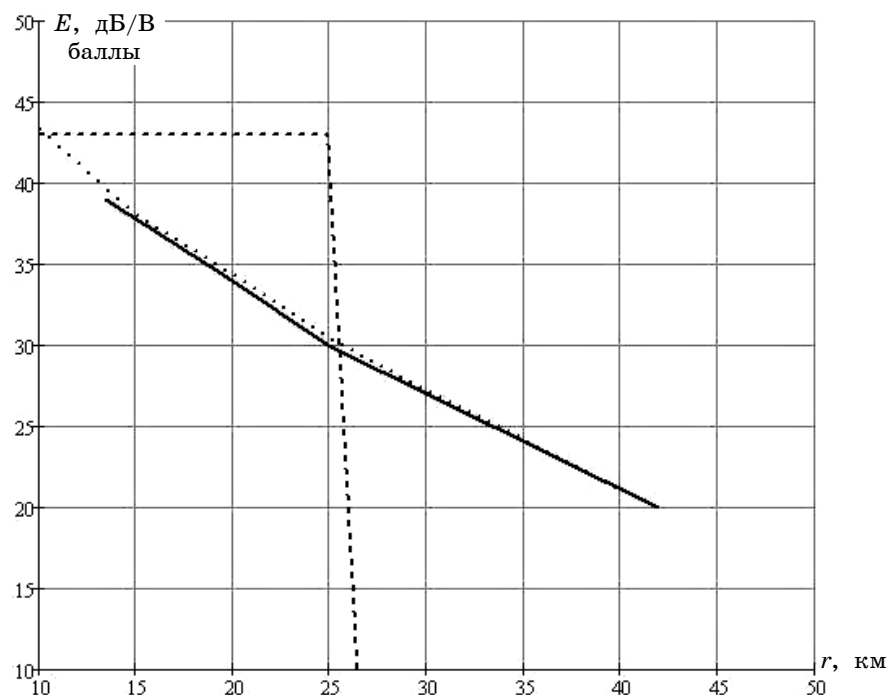


Рис. 1. Зависимости напряженности поля от расстояния

На практике проверено, что методы для расчета зон покрытия аналоговых телевизионных передатчиков допустимы и в расчетах зон покрытия цифровых телевизионных передатчиков со следующими параметрами транспортного цифрового потока: режим модуляции 64-QAM с относительной скоростью кодирования $2/3$ и защитным интервалом $1/32$.

Литература

1. Fischer W. Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A Practical Engineering Guide. – Second Edition. – Berlin: Springer, 2008. – 586 p.
2. Рекомендация МСЭ – R 1546-3 (Критерии планирования для услуг наземного цифрового телевидения в диапазонах ОВЧ/УВЧ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rfcmd.ru/sphider/docs/ITU - R_Rec_List_ANO_R.htm, свободный (дата обращения 12.07.2010).
3. Варбанский А.М. Передающие телевизионные станции. – М.: Связь, 1980. – 328 с.

Попов Александр Сергеевич

Аспирант каф. телевидения и управления ТУСУР
Тел.: (8 382-2) 41-33-80
Эл. почта: mailrus@bk.ru

Popov A.S.

The application of Okumura-Hata and Vvedensky models for calculations of the field strength of DVB-T television transmitters

A method for calculating the field strength of DVB-T television transmitters is suggested, and comparative analysis of equations for calculations of the field strength of DVB-T television transmitters is carried out. The data transmission rates of DVB-T system are calculated. The experimental data analysis is performed.

Keywords: digital television, television transmitter, field strength, Okumura-Hata method, Vvedensky equation, DVB-T.