

Расчет напряженности поля, создаваемой передатчиком.

Часть 1. Кривые распространения

Песков С.Н., к.т.н.,

В настоящей статье рассматривается второй шаг по расчету зоны покрытия – анализируется зависимость напряженности поля E от дальности R при известной эффективно излучаемой мощности передатчика $P_{ЭИМ}$.

Статья является продолжением серии публикаций по DVB-T/H вещанию, начатых в 2007 году [2].

В трех ранее опубликованных частях [1] мы научились находить минимальное значение напряженности поля E_{min} для обеспечения требуемого режима работы DVB-H сети, т.е. $C/N_{треб}$, гарантирующее ее работоспособность, а также вычислять минимальные медианные значения напряженности поля E_{med} , необходимые для нормальной работы в том или ином классе приема (A-D) при заданной вероятности мест размещения (например, 70% или 95%). В более ранних публикациях [2] такая же задача была рассмотрена и для DVB-T вещания.

Теперь, для расчета зоны покрытия (ЗП), нам достаточно найти зависимость напряженности поля E от расстояния R при заданной эффективно излучаемой мощности передатчика $P_{ЭИМ}$. Такие зависимости справедливы для любых видов сигналов, включая аналоговое вещание, FM радиовещание, DVB-T/H вещание, MMDS и т.п.

Как уже было оговорено ранее, границу ЗП определяют как геометрическое место точек, в которых значения напряженности поля равны нормируемым значениям в течение $T\%$ времени в $L\%$ мест приема, т.е. $E(T/L)$. Обычно $T = 50\%$ и $L = 50\%$. Однако, эти значения могут варьироваться в любых пределах.

Радиус ЗП (расстояние от передающего центра до локальной точки приема, в которой гарантируется выбранное значение $E(T/L)$), определяют либо аналитическим путем (будет показано в последующих публикациях), либо по справочным кривым распространения [3].

Кривые распространения приводятся в [3] на номинальных частотах 100 МГц, 600 МГц и 2000 МГц с разной вероятностью по времени приема (для 50% мест размещения) в 1%, 10% и 50% как для распространения радиоволн по суше, так и по морскому пути (с теплой, нормальной и холодной водой) и распространяются на диапазон 30 МГц-3000 МГц. В [3] даны также и рекомендации по интерполяции и экстраполяции для пользования предоставленными кривыми распространения на трех фиксированных частотах.

Кривые распространения представляют собой справочное инженерное руководство для специалистов, занимающихся разработкой и сетевым планированием радио коммуникационных услуг в МВ и ДМВ диапазонах и базируются на статистических анализах экспериментальных данных, главным образом полученных в Европе и Северной Америке, т.е. в климатических зонах, совместимых с Россией (включая холодные и теплые моря, например, Северное море и Средиземное море). Ниже рассматриваются эти рекомендации в кратком и несколько упрощенном (сокращенном) виде.

Для примера, на рис.1 представлены кривые распространения для частоты 600 МГц: $E(50/50)$, суша. Кривые всегда приводятся для разных фиксированных оговоренных

высот подъема (возвышения) передающей антенны H и для высоты подвеса приемной/мобильной антенны $h = 10$ м. Кривые распространения нормированы относительно эффективно излучаемой мощности (произведение коэффициента усиления передающей антенны G на подводимую к ней мощность P_A) величиной в 1 кВт (30 dBW или дБ·Вт).

Заметим, что нормальной логарифмической прямой на рис.1 (пунктир, «Свободное пространство») соответствует широко используемая формула по расчету напряженности поля:

$$E_{[dB\mu V/m]} = 76,6 + P_{[dBW]} + G_{[dB]} - 20 \lg R_{[км]}. \quad (1)$$

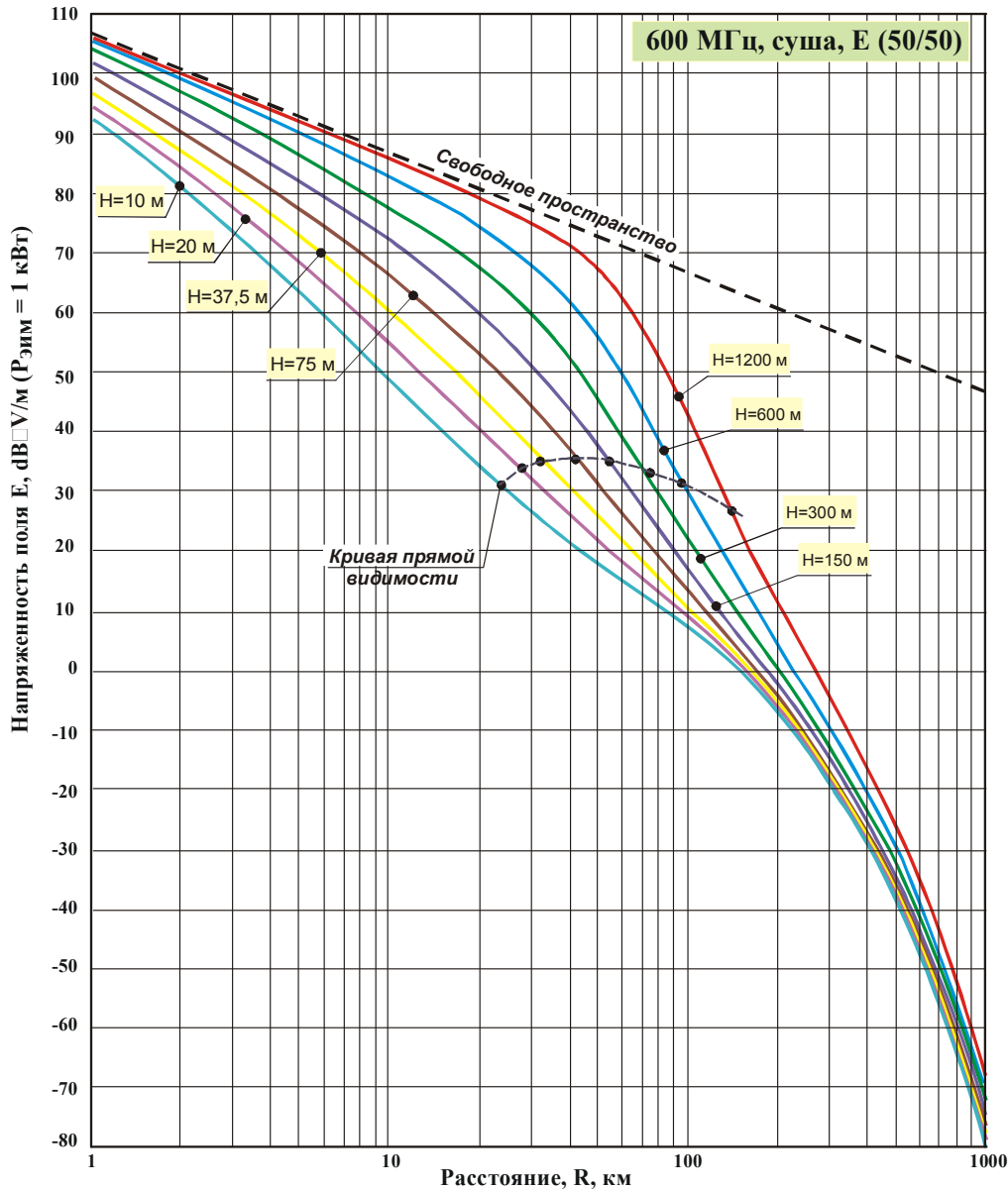


Рис.1

Для нашего случая кривые распространения представлены для $10 \lg(PG) = 30$ dBW. Из рис.1 видно, что такая формула дает весьма ощутимую погрешность расчетов (формула пригодна только для свободного пространства, т.е. без учета влияния Земли) на малых и средних высотах подъема антенны H даже на малых расстояниях R . Уравнение (1) описывает минимальное значение напряженности поля, справедливое для суши (наземные трассы распространения сигнала). Так как кривые распространения приводятся для $P_{ЭИМ} = 30$ dBW, то уравнение (1) может быть записано в упрощенном виде:

$$E_{\max} = 106,6 - 20 \lg R. \quad (2)$$

Аналогичное выражение, но для морских трасс, записывается в виде:

$$E_{se.max} = 106,6 - 20 \lg R + 2,38 \{1 - \exp(-R/8,94)\} \lg(50/t), \quad (3)$$

где t – процент времени.

Как правило, для $t = 10 \dots 90\%$, эти различия не превышают $0,5 \dots 1,5$ dB. Для $t = 1\%$, различие может составлять до 4-х децибел.

На том же рис.1 штрихпунктирной линией нанесена кривая прямой (оптической) видимости между передающей и приемной антеннами:

$$R_m = 3,57 \left(\sqrt{H_{[м]}} + \sqrt{h_{[м]}} \right). \quad (4)$$

Здесь и далее по тексту под H и h понимаются высоты установки передающей и приемной антенн соответственно.

Судя по этой кривой видно, что радиоволны продолжают распространяться и далеко за пределами прямой видимости, а их затухание приближено к нормальному логарифмическому закону. И только на расстоянии свыше $(3 \dots 5)R_m$ затухание радиоволн резко увеличивается.

Приведем численный пример пользования такими кривыми распространения.

Пример. Требуется найти мощность DVB-T передатчика, обеспечивающего напряженность поля величиной $E_{min} = 40$ dB μ V. Высота подъема передающей антенны $H = 75$ м. Высота установки приемной антенны $h = 10$ м. Радиус ЗП – 50 км.

Решение. Пользуясь рис.1 находим, что эквивалентное значение напряженности поля при $R = 50$ км и $H = 75$ м составляет 31,5 dB μ V/м. Следовательно, до требуемого значения напряженности поля $E_{min} = 40$ dB μ V/м нам не хватает 8,5 dB ($40 - 31,5 = 8,5$). Таким образом, мы можем использовать антенну с коэффициентом усиления 8,5 dB и передатчик с подводимой антенной мощностью в 1 кВт (30 dBW) или передатчик с подводимой антенной мощностью в 38,5 dBW при нулевом коэффициенте усиления антенны.

Предлагаем читателям убедиться самостоятельно, что для обеспечения ЗП с $R = 100$ км при $E_{min} = 27$ dB μ V/м, потребуется $P_{ЭИМ} = 40$ dBW. Реализация такой ЗП возможна только для QPSK или 16QAM форматов модуляции, т.е. при работе на низких скоростях.

Таким образом, вычисляя требуемые минимальные медианные значения напряженности поля для DVB-T или DVB-H вещания (например, [1,2]) и откладывая их на кривых распространения (как пример – рис.1), можно находить радиус ЗП при заданной $P_{ЭИМ}$ или требуемую $P_{ЭИМ}$ при заданном радиусе ЗП. Однако, при этом потребуется очень большое количество табличных значений кривых распространения, что не реально в практическом использовании. В силу этого рассмотрим наиболее важные рекомендации, предоставленные в [3].

Таблица 1

Диапазон частоты, МГц	30...300	300...1000	1000...3000
Частота, на которой приводятся кривые распространения, МГц	100	600	2000
Типовая девиация ΔE от вида услуги, dB:			
- аналоговое вещание	8,3	9,5	5,5
- цифровое вещание	5,5	5,5	-
- мобильное, городское	5,3	6,2	7,5
- мобильное, пригородное, холмистая местность	6,7	7,9	9,4

Кривые распространения для трех диапазонов (см. табл.1) представлены на трех частотах: 100 МГц, 600 МГц и 2000 МГц. Для каждой из частот приводятся 8 семейств кривых распределения для 50% мест размещения (приняты зоны с примерными размерами 200 x 200

м) с 50%, 10% и 1% временем приема как для наземных трасс, так и для морских трасс (с холодными и теплыми водами).

Высота установки передающей антенны H , которая должна быть использована в расчетах, зависит от типа пути распространения сигнала и расстояния. Для морских путей H

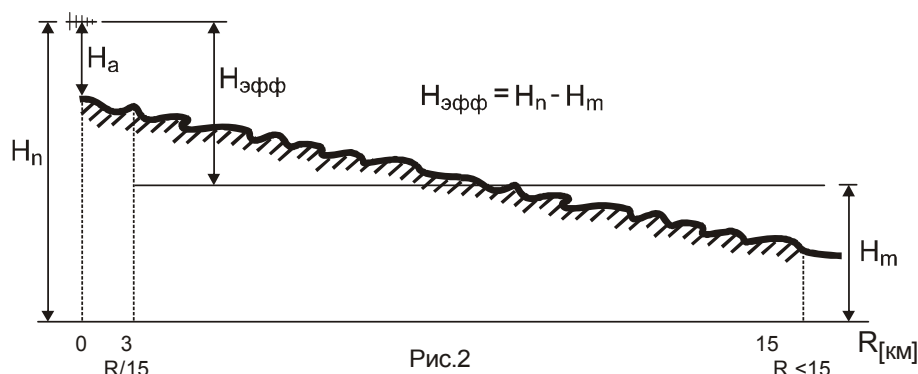


Рис.2

представляет собой высоту антенны выше уровня морской поверхности. Для наземных же трасс эффективная высота $H_{эфф}$ определяется как ее высота в метрах по среднему уровню земли между точками в 3...15 км от передающей антенны в направлении приемной антенны (см. рис.2).

Для наземных трасс короче 15 км используется один из методов:

а) *отсутствие информации о рельефе местности:*

$$H = H_a, \text{ м} \quad \text{для } R \leq 3 \text{ км} \quad (5)$$

$$H = H_a - (H_{эфф} - H_a)(R - 3)/12, \text{ м} \quad \text{для } 3 \text{ км} < R < 15 \text{ км}, \quad (6)$$

где H_a – высота антенны над землей (например, высота мачты).

б) *наличие информации о рельефе местности:*

$$H = H_e \quad (7)$$

где H_e – высота антенны по отношению к усредненному значению высоты земли между $0,2R$ и R км.

Для наземных трасс протяженностью свыше 15 км:

$$H = H_{эфф}, \text{ м} \quad (8)$$

Именно эти значения высот установки передающих антенн используют при проведении расчетов.

Реальная высота установки передающей антенны H в общем случае может не совпадать с одной из восьми информационных высот (10...1200 м, см. рис.1) H_i , для которых приводятся кривые распространения. В этом случае для нахождения напряженности поля E используется экстраполяция через две близлежащие высоты H_1 и H_2 (с соответствующими значениями E_1 и E_2 на равном удалении R):

$$E = E_1 + (E_2 - E_1) \frac{\lg(H/H_1)}{\lg(H_2/H_1)} \quad (9)$$

Например, для антенны с высотой установки $H = 50$ м следует использовать две ближайшие высоты $H_1 = 37,5$ м и $H_2 = 75$ м. Для случая $f = 600$ МГц и $R = 25$ км, это будет соответствовать $E_1 = 41,4$ дВ μ V/м и $E_2 = 48,3$ дВ μ V/м. Тогда расчеты по (9) для $H = 50$ м дадут значение искомой напряженности поля $E = 44,3$ дВ μ V/м.

Формула экстраполяции (9) пригодна для высот $H = 10...3000$ м, что в большинстве случаев достаточно для практического применения. Тем не менее, могут встречаться случаи, когда $0 \leq H \leq 10$ м. Большей частью это может относиться к холмистым или гористым местно-

стям, а также для DVB-H вещания при малых зонах охвата. В этом случае пользуются критерием радиовидимости [4] до линии горизонта:

$$R_{м[км]} = 4,1\sqrt{H_{[м]}}. \quad (10)$$

В этом случае для $R < R_{м}$, напряженность поля определяется по одной из кривых с высотой установки передающей антенны $H = 10$ м (верхняя кривая рис.3) на дальности ее горизонта плюс ΔE , где ΔE – разность в напряженностях полей на кривой с $H = 10$ м на расстояниях R и дальности горизонта $R_{м}$, т.е.:

$$E = E_{10}(R_{м}(10)) + E_{10}(R) - E_{10}(R_{м}(H)) \quad (11)$$

Пример. Рассчитать напряженность поля, создаваемого передающей антенной с высотой установки $H = 4$ м при $P_{ЭИМ} = 1$ кВт в точке, удаленной на $R = 5$ км (как обычно, высота подвеса приемной антенны $h = 10$ м).

Решение.

1. По (10) рассчитываем дальность радиовидимости до линии горизонта:

$$R_{м[км]} = 4,1\sqrt{H} = 4,1\sqrt{4} = 8,2 \text{ км.}$$

2. Согласно рис.3 находим три значения напряженности поля:

$$E_{10}(R_{м}(10)) = 42,9 \text{ dB}\mu\text{V/м} (R = 13 \text{ км});$$

$$E_{10}(R) = 63,1 \text{ dB}\mu\text{V/м} (R = 5 \text{ км});$$

$$E_{10}(R_{м}(H)) = 52,8 \text{ dB}\mu\text{V/м} (R = R_{м} = 8,2 \text{ км}).$$

3. Согласно (11) находим эквивалентную напряженность поля E , создаваемую антенной с $H = 4$ м на удалении $R = 5$ км:

$$E = 42,9 + 63,1 - 52,8 = 53,2 \text{ dB}\mu\text{V/м.}$$

При снижении высоты подъема антенны до $H = 2$ м (т.е. в 2 раза), напряженность поля составит $43,2 \text{ dB}\mu\text{V/м}$, т.е. снизится на 10 dB. Внимательный читатель заметит, что при $H = 10$ м: $E_{10}(R_{м}(10)) = E_{10}(R_{м}(H))$ и $E = E_{10}(R)$, что соответствует заявленной кривой распространения.

Для случаев $R \geq R_{м}$, вместо формулы (11) используют соотношение:

$$E = E_{10}(R_{м}(10) + R - R_{м}(H)). \quad (12)$$

Если в уравнении (12) величина $R_{м}(10) + R - R_{м}(H)$ превышает 1000 км, даже при том, что $R \leq 1000$ км, напряженность E может быть найдена из линейной (логарифмической) экстраполяции по формуле:

$$E = E_H + (E_K - E_H) \frac{\lg(R/R_H)}{\lg(R_K/R_H)} \quad (13)$$

где: R_H и R_K – предпоследнее и конечное табулированные расстояния согласно кривых распространения;

E_H и E_K – предпоследнее и конечное напряженности поля, соответствующие значениям R_H и R_K соответственно.

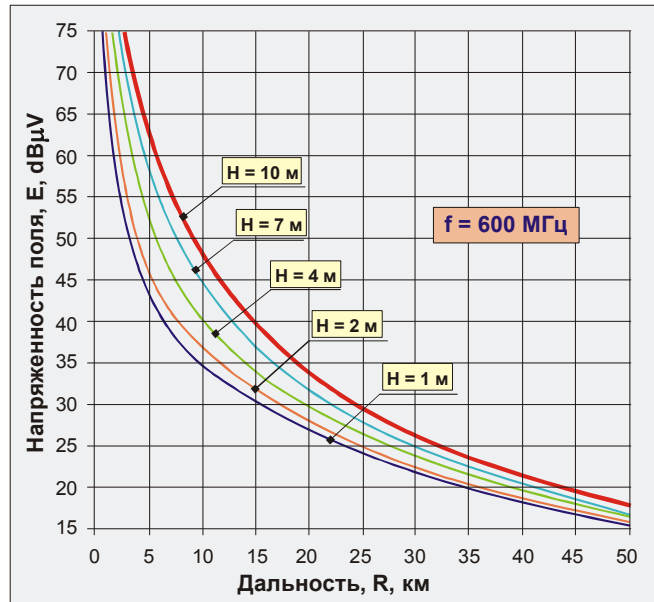


Рис.3

Обращаем внимание, что эта рекомендация не пригодна для расстояний, превышающих 1000 км, а уравнение (13) должно использоваться только для экстраполяции с $H < 10$ м.

Для лучшего восприятия излагаемого материала, на рис.3 представлены расчетные кривые для $E(50/50)$ при $H \leq 10$ м. Пользование такими кривыми существенно упрощает процедуру определения напряженности поля E и пригодно для практического использования.

Рассмотрение процедуры пересчета напряженности поля E при $H \leq 10$ м для морского пути распространения сигнала не входит в рамки данной статьи. Мы также здесь не рассматриваем и отрицательные высоты подъема антенны, которые хотя и не часто, но могут иметь место на практике.

Интерполяция напряженности поля E как функция расстояния R осуществляется по формуле (13). При этом под R_H и R_K следует понимать ближайшие табулированные значения расстояний. При этом такая экстраполяция не допустима для значений R , меньших чем 1 км или больших чем 1000 км.

Интерполяция напряженности поля E как функция частоты f может быть получена между номинальными значениями частот 100, 600 и 2000 МГц, на которых приводят кривые распространения при той или иной вероятности приема. В случае частот ниже 100 МГц или выше 2000 МГц, интерполяция заменяется экстраполяцией от двух более близких значений номинальной частоты (но не ниже 30 МГц и не выше 3000 МГц).

Для наземных трасс и морских путей при $f > 100$ МГц, искомое значение напряженности поля E вычисляется по формуле:

$$E = E_H + (E_B - E_H) \frac{\lg(f / f_H)}{\lg(f_B / f_H)}, \quad (14)$$

где: f – частота, для которой ведется прогнозирование;
 f_H и f_B – более низкая (100 МГц, если $f < 600$ МГц, иначе – 600 МГц) или более высокая (600 МГц, если $f < 600$ МГц, иначе – 2000 МГц) номинальные справочные частоты, относительно которых осуществляется интерполяция;
 E_H и E_B – значения напряженности поля для f_H и f_B .

Пример. Требуется определить напряженность поля E на прогнозируемой частоте $f = 474$ МГц при $R = 30$ км, $H = 75$ м и $P_{ЭИМ} = 1$ кВт ($L/T = 10/10\%$).

Решение.

1. Пользуясь кривыми распространения или справочными таблицами находим: $E_H = 55,8$ дВμV/м для частоты $f_H = 100$ МГц и $E_B = 52,2$ дВμV/м для частоты $f_B = 600$ МГц.

2. Пользуясь формулой (14), находим интерполированное значение напряженности поля:

$$E = 55,8 + (52,2 - 55,8) \frac{\lg(474/100)}{\lg(600/100)} = 52,8 \text{ дВμV/м.}$$

Литература

1. Песков С.Н. Расчет зоны покрытия для цифрового эфирного вещания DVB-T/H. Часть 1-3. Телеспутник., 2008, №№5-7.
2. Песков С.Н. Рекомендации по внедрению DVB эфирного вещания. Телеспутник., 2007, №№2-10.
3. Recommendation ITU-R P.1546-1. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz. (2001-2003).

4. Песков С.Н. Расчет зоны покрытия для цифрового эфирного вещания DVB-T/H. Часть 1. Понятие зоны покрытия для цифрового вещания. Минимальная напряженность электрического поля. Телеспутник., 2008, №5, с.110-113.

2008г.