

Влияние уличных промышленных радиопомех на работу мобильной связи

Б. М. Антипин¹, Е. М. Виноградов²

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

¹boris_antipin@mail.ru, ²vinog1936@mail.ru

Аннотация. Уличные электронные рекламные конструкции являются источниками промышленных помех, которые могут влиять на качество мобильной связи. Это влияние можно оценить разными способами. Здесь рассмотрен один из них. В качестве показателя изменения качества приема сигнала используется снижение чувствительности приемника при наличии промышленной помехи на входе приемника.

Ключевые слова: промышленная помеха; чувствительность приемника; отношение помеха/шум; электронная уличная реклама

I. ВВЕДЕНИЕ

В диапазоне ОВЧ, где работают средства подвижной связи, уровни промышленных радиопомех превышают уровень естественных шумов. В городских условиях, где уровень промышленных радиопомех особенно высокий, эти помехи могут существенно влиять на качество работы подвижных средств радиосвязи. Электронные рекламные конструкции, использующие информационные технологии с отображением информации с помощью светодиодов с цифровой сменой отображения, являются источниками излучений, которые создают радиопомехи подвижным средствам связи, работающим в диапазоне ОВЧ.

Цель работы – оценить влияние промышленных радиопомех на работу радиоприемника в зависимости от расстояния между источником помехи и радиоприемником. В качестве источника помехи рассматриваются информационные технические средства. Уровни помех этих средств нормируются. Значения, установленные в нормах, используются в качестве исходных данных для уровней излучений, которые создает соответствующее оборудование.

Ключевым параметром радиоприемника, влияющим на рабочую характеристику любой системы радиосвязи, является его чувствительность. Промышленная радиопомеха в полосе приемника снижает его чувствительность. Оценить снижение чувствительности можно, используя уравнение

$$R_d = 10 \lg(1 + i/n), \quad (1)$$

здесь R_d – снижение чувствительности приемника, дБ; i и n – соответственно мощности помехи и собственного шума приемника, приведенные к входу приемника, Вт.

Таким образом, задаваясь значением допустимого снижения чувствительности R_d , из (1) можно получить соответствующее ему значение i/n и, наоборот, определив значение i/n , можно найти снижение чувствительности приемника R_d . В обоих случаях информация об уровне излучения источника помехи и уровне помехи на входе приемника в его полосе пропускания позволяет, используя подходящую модель оценки потерь на трассе распространения, определить расстояние между источником помехи и радиоприемником, отвечающее этому уровню помехи.

II. ОБОЗНАЧЕНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

На рисунке ниже представлена анализируемая ситуация и основные геометрические параметры, используемые при дальнейших расчетах.

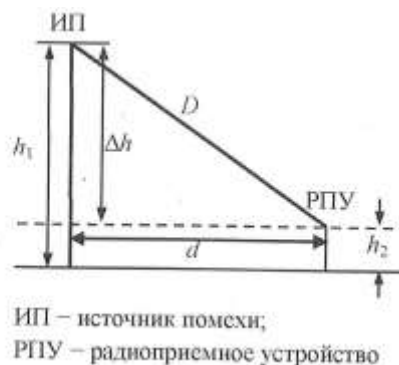


Рис. 1. Геометрические параметры, характеризующие взаимное положение ИП и РПУ

На рисунке обозначены:

h_1 – высота источника помехи (над поверхностью земли, м); h_2 – высота антенны приемника-жертвы (РПУ) над поверхностью земли, м; d – расстояние между ИП и РПУ по горизонтали, км; D – полное расстояние между ИП и РПУ, м.

Параметры связаны между собой:

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_1 - h_2 \\ D^2 &= d^2 \cdot 10^6 + \Delta h^2 \end{aligned}$$

К другим параметрам, используемым в процессе расчетов, относятся:

E_n – уровень напряженности электромагнитного поля, определенный нормативными документами, который создает источник индустриальной радиопомехи при определенных условиях, дБ(мкВ/м) (обычно на некотором расстоянии d_1 от источника излучения).

f – рабочая частота приемника-жертвы, МГц; B_R – полоса пропускания приемника-жертвы, кГц; $B_{изм}$ – полоса измерительного приемника, который использовался для измерения напряженности поля кГц; I – мощность помехи на входе приемника-жертвы, дБм; N – мощность собственного шума приемника-жертвы, дБм; (I/N) – приведенное к входу приемника-жертвы отношение помеха/(собственный шум приемника), дБ.

NF – коэффициент шума приемника-жертвы, дБ.

G – коэффициент усиления антенны измерительного приемника, дБи.

III. ПРОЦЕДУРА ОЦЕНКИ

1. Определим мощность помехи $I_{изм}$ на расстоянии d_1 в полосе измерительного приемника $B_{изм}$, исходя из напряженности поля E_n , заданной в нормативном документе на этом расстоянии:

$$I_{изм}(\text{дБм}) = E_n[\text{дБ(мкВ/м)}] - 20 \lg[f(\text{МГц})] + G(\text{дБи}) - 77,2$$

2. Считая спектральную плотность мощности помехи в полосе измерительного приемника постоянной, определим мощность помехи $I_{изм1}$, дБм, в полосе приемника-жертвы на расстоянии d_1 от источника помехи:

$$I_{изм1} = I_{изм} + 10 \lg(B_R / B_{изм}) \quad (2)$$

3. Обозначим $I(d)$ мощность помехи на расстоянии d , м, от источника помехи, дБм. Тогда потери мощности помехи $\Delta(d)$, дБ, на расстоянии d от источника помехи относительно мощности на расстоянии d_1 будут равны разности мощностей помехи в рассматриваемых точках и составят:

$$\Delta(d) = I_{изм1} - I(d) \quad (3)$$

Эти потери не зависят от ширины полосы пропускания приемника-жертвы и, учитывая (2), а также то, что мощность собственного шума приемника N , дБм

$$N = -174 + 10 \lg[B_R(\text{Гц})] + NF,$$

$$\text{и } I(d) = (I(d)/N) + N,$$

выражение (5) можно преобразовать к виду

$$\Delta(d) = I_{изм} - 10 \lg[B_{изм}(\text{Гц})] - (I(d)/N) + 174 - NF \quad (4)$$

4. С другой стороны, используя модель оценки потерь в свободном пространстве $L_{св}(d)$, дБ

$$L_{св}(d) = 32.45 + 20 \lg[f(\text{МГц})] + 20 \lg[d(\text{км})]$$

для расстояния от источника помехи d_1 , указанного в нормативном документе, и выбрав модель, позволяющую оценить потери при распространении $L(d)$, дБ, на трассе протяженностью d , км, не обязательно соответствующую свободному пространству, для (6) можно записать:

$$\Delta(d) = L(d) - L_{св}(d_1) \quad (5)$$

Модель, определяющая потери на расстоянии d , отличном от d_1 , выбирается в соответствии с анализируемой ситуацией.

5. Из уравнений (4) и (5) вытекает, что

$$(I(d)/N) = I_{изм} - 10 \lg[B_{изм}(\text{Гц})] + 174 - NF - (L(d) - L_{св}(d_1)) \quad (6)$$

Все значения слагаемых в правой части этого уравнения, кроме $L(d)$, принадлежат к исходным данным задачи или могут быть вычислены по этим данным ($I_{изм}$ по уравнению (1)).

Выражение (6) определяет зависимость отношения помеха/(собственный шум приемника) от расстояния до источника помехи и позволяет, используя (1), получить информацию о снижении чувствительности приемника в зависимости от расстояния до источника помехи.

IV. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Исходные данные задачи

- $E_n=26$ дБ(мкВ/м) на расстоянии $D1=10$ м от источника индустриальной радиопомехи на высоте 1,5 м от поверхности земли [1];
- $f = 150$ МГц;
- $B_{изм} = 120$ кГц;
- $NF = 6, 9$ и 12 дБ;
- $h_1 = 15$ м;
- $h_2 = 1,5$ м.
- $G = 0$ дБи

Требуется оценить значение отношения (индустриальная радиопомеха)/(собственный шум РПУ), I/N , в зависимости от расстояния d до источника индустриальной радиопомехи

Расчет.

Следуем рассмотренной выше процедуре с учетом обозначений, принятых в данной задаче.

$$\begin{aligned} 1. I_{изм} &= E_n - 20 \lg(f) - 77,2 = \\ &= 26 - 20 \lg(150) - 77,2 = -94,7 \text{ дБм} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2. \Delta(D) &= I_{\text{изм}} - 10 \lg[B_{\text{изм}}(\text{Гц})] - I(D)/N + 174 - NF = \\
&= -94.7 - 10 \lg(120 \cdot 10^3) + 174 - I(D)/N - NF = \\
&= 28.5 - I(D)/N - NF \\
3. I(D)/N &= 28.5 - NF - (L(D) - L_{\text{св}}(D_1)) = \\
&= 28.5 - NF - \Delta L(D)
\end{aligned} \quad (7)$$

где $\Delta L(D) = L(D) - L_{\text{св}}(D_1)$

Для вычисления $\Delta L(D)$ используем модель, предложенную в МСЭ-R Рек. 1546 [2], которая имеет расширение на трассы длиной менее 1 км. На трассах протяженностью до 40 м включительно во всех случаях используется модель оценки потерь в свободном пространстве.

Значения напряженности электромагнитного поля для расстояний $1 \text{ км} > d > 0,04 \text{ км}$ определяют, используя интерполяцию между значениями напряженности в точках, удаленных от источника помехи на 0,04 км и 1 км. Оценка напряженности поля на расстоянии 1 км от источника помехи происходит с использованием кривых, представленных в рекомендации, или компьютерных таблиц Бюро радиосвязи МСЭ.

В нашей задаче высота источника помехи $h_1 = 15 \text{ м}$ и рабочая частота приемника $f = 150 \text{ МГц}$ не совпадают с параметрами кривых, приведенных в рекомендации. Для выполнения процедур интерполяции используем информацию о значениях напряженности поля для сухопутных трасс с высотами антенн $h_1 = 10 \text{ м}$ и $h_1 = 20 \text{ м}$ на частотах $f = 100 \text{ МГц}$ и $f = 600 \text{ МГц}$ для расстояния $d = 1 \text{ км}$.

При определении зоны, в которой помеха может представлять опасность приему сигналов радиосвязи, важным параметром является процент мест, в котором помеха может превышать допустимый уровень или, что то же самое, отношение I/N может превышать допустимое значение.

Обозначим p_t процент времени, а p_L процент местоположений, в которых помеха и, соответственно, I/N превышают уровни, выбранные в качестве допустимых. Информация, представленная в табл. I относится к ситуации, когда $p_t = 1\%$, а $p_L = 50\%$

ТАБЛИЦА I НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ ДЛЯ $D = 1 \text{ км}$

$h_1, \text{ м}$		10	20	37,5
$E, \text{ дБ(мкВ/м)}$	$f = 100 \text{ МГц}$	89,98	92,18	94,636
	$f = 600 \text{ МГц}$	92,79	94,89	97,076

Процедура интерполяции состоит из ряда шагов.

1. Интерполяция напряженности поля по высоте для $h_1 = 15 \text{ м}$

$$E = E_{\text{inf}} + (E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}) \lg(h_1/h_{\text{inf}}) / \lg(h_{\text{sup}}/h_{\text{inf}})$$

Здесь

h_{inf} – ближайшая номинальная эффективная высота меньшая, чем h_1 ;

h_{sup} – ближайшая номинальная эффективная высота большая, чем h_1 ;

E_{inf} – значение напряженности поля для h_{inf} на расстоянии $d = 1 \text{ км}$;

E_{sup} – значение напряженности поля для h_{sup} на расстоянии $d = 1 \text{ км}$;

2. Интерполяция напряженности поля по частоте для $f = 150 \text{ МГц}$

$$E = E_{\text{inf}} + (E_{\text{sup}} - E_{\text{inf}}) \lg(f/f_{\text{inf}}) / \lg(f_{\text{sup}}/f_{\text{inf}})$$

Здесь E_{inf} значение напряженности поля для $f_{\text{inf}} = 100 \text{ МГц}$, вычисленное выше для $h_1 = 15 \text{ м}$ и $d = 1 \text{ км}$. Аналогично E_{sup} значение напряженности поля для $f_{\text{sup}} = 600 \text{ МГц}$, вычисленное также для $h_1 = 15 \text{ м}$ и $d = 1 \text{ км}$.

3. Поправка на высоту приемной подвижной антенны

В качестве репрезентативной высоты рассеяния R_2 для городского района в [2] рекомендуется использовать 15 м. Модифицированная высота репрезентативного местного препятствия

$$R_2^* = (1000dR_2 - 15h_1) / (1000d - 15), \text{ м},$$

где d горизонтальная длина трассы, км, а h_1 и R_2 выражены в метрах. В рассматриваемом случае $R_2^* = R_2$.

Поправка для приемной антенны, расположенной в городском районе, при $h_2 = 1,5 \text{ м} < R_2^*$

$$\Delta E = 6,03 - J(v), \quad (8)$$

где $J(v) = 6,9 + 20 \lg(\sqrt{(v-0,1)^2 + 1} + v - 0,1)$, дБ

$$v = K_{nu} \sqrt{h_{\text{dif}} 2^{\Theta_{\text{clut}2}}}$$

$$h_{\text{dif}2} = R_2^* - h_2$$

$$\Theta_{\text{clut}2} = \arctg(h_{\text{dif}2}/27)$$

$$K_{nu} = 0,0108 \sqrt{f(\text{МГц})}$$

Далее найдем $E_{1\text{км}}^* = E_{1\text{км}} + \Delta E$

$$E = E_{\text{inf}} + (E_{1\text{км}}^* - E_{\text{inf}}) \lg(D/d_{\text{inf}}) / \lg(d_{\text{sup}}/d_{\text{inf}}) \quad (9)$$

где d_{inf} – наклонное (полное) расстояние для $d = 0,04 \text{ км}$ (40 м). В рассматриваемой задаче $d_{\text{inf}} = 42,2 \text{ м}$; d_{sup} – наклонное (полное) расстояние для $d = 1 \text{ км}$. В задаче можно считать $d_{\text{sup}} = 1 \text{ км}$; E_{inf} – напряженность поля в свободном пространстве на расстоянии d_{inf} от источника излучения

$$E_{\text{inf}} = 106,9 - 20 \lg(d_{\text{inf}}); E_{\text{sup}} = E_{1\text{км}}^* \text{ дБ(мкВ/м)}$$

Теперь основные (базовые) потери на трассе, дБ

$$L(D) = 139,3 - E + 20 \lg(f) \quad (10)$$

$$\text{и } \Delta L(D) = L(D) - L_{\text{св}}(0,01) = L(D) - 36 \quad (11)$$

Зависимость (I/N) от расстояния D для $f = 150$ МГц дает выражение (10).

Пока рассматриваемая процедура относится к значениям $p_t = 1\%$ и $p_L = 50\%$. Изменение этих значений требует коррекции значений $E_{1\text{км}}$ и пересчета параметров, связанных с $E_{1\text{км}}$.

Пусть $E_{1\text{км}}(p_L, f)$ медианное значение напряженности поля на частоте f , которое будет превышать в $p_L\%$ мест. Используя [4], запишем

$$E_{1\text{км}}(p_L, f) = E_{1\text{км}} + Q(p_L/100) \cdot \sigma_L(f)$$

Здесь $E_{1\text{км}}$ – медианное значение напряженности поля для выбранных ранее значений p_t и p_L ;

$Q(x)$ – обратная дополнительная кумулятивная функция нормального распределения;

σ_L – стандартное отклонение нормального распределения местных средних значений в рассматриваемой зоне.

Репрезентативное значение σ_L для зон в городских районах размером 500 м×500 м и приемников с антеннами ниже высоты местных препятствий для подвижных систем с всенаправленными антеннами на высоте крыши автомобиля для $f = 150$ МГц определяется выражением [2]:

$$\sigma_L = 1,2 + 1,3 \lg(f) = 4,03$$

Поправка ΔE на высоту приемной антенны, вычисленная по (14), не меняется. Обозначив $E_{1\text{км}}^*(p_L, f)$ откорректированное значение напряженности поля на расстоянии 1 км на высоте приемной антенны 1,5 м, значения которой на частоте f будут превышены в $p_L\%$ мест, найдем

$$E_{1\text{км}}^*(p_L, f) = E_{1\text{км}}(p_L, f) + \Delta E(f)$$

Интересующие значения напряженности поля E на расстоянии d (или D) от источника помехи, значения $L(D)$, $\Delta L(D)$ и I/N получим, используя (16) (где $E_{\text{sup}} = E_{1\text{км}}^*(p_L, f)$), (10), (181), и (7).

Результаты расчетов для трех приемников с разным коэффициентом шума NF представлены в табл. II.

ТАБЛИЦА II $(I/N)(D)$ для $F = 150$ МГц ($p_t = 1\%$, $p_L = 5\%$)

d , км	D , м	I/N , дБ		
		$NF = 6$ дБ	$NF = 9$ дБ	$NF = 12$ дБ
0,01	16,8	18,0	15,0	12,0
0,02	24,1	14,9	11,9	8,9
0,03	32,9	12,3	9,3	6,3
0,04	42,2	10,0	7,0	4,0
0,05	51,8	6,8	3,8	0,8
0,06	61,5	4,1	1,1	-1,9
0,07	71,3	1,7	-1,3	-4,3
0,08	81,1	-0,4	-3,4	-6,4
0,09	91,0	-2,2	-5,2	-8,2
0,10	100,9	-3,8	-6,8	-9,8
0,12	120,8	-6,7	-9,7	-12,7
0,15	150,6	-10,3	-13,3	-16,3
0,20	200,5	-14,8	-17,8	-20,8
0,30	300,3	-21,3	-24,3	-27,3

Таблица позволяет по значению I/N определить снижение чувствительности приемника и расстояние до источника помехи, при котором будет иметь место это событие. Часто выбирают $I/N = -6$ дБ, когда снижение чувствительности составляет 1 дБ. Из таблицы видно, что такое отношение может быть обеспечено для представленных приемников при минимальных расстояниях от источника помехи от 80 м до 120 м в зависимости от коэффициента шума приемника.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен способ оценки влияния индустриальной радиопомехи, создаваемой уличной электронной рекламой, на мобильные радиоприемные устройства. Способ основан на использовании эффекта изменения чувствительности радиоприемника при воздействии на него внешней помехи. Для разных приемников уровень помехи, приводящий к одному и тому же значению изменения чувствительности, зависит от коэффициента шума приемника и мощности помехи, поступающей в приемник в полосе его пропускания. Точность оценки значения помехи зависит от модели, используемой для оценки потерь на трассе распространения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Приложение к решению ГКРЧ от 24 декабря 2018 г. №18-48-05. Временные нормы по защите приемных радиоэлектронных средств от индустриальных помех, создаваемых различными типами технических средств информационных технологий с цифровой сменой изображения типа медиафасад, рекламных и иных конструкций, использующих светодиодное оборудование.
- [2] Рек. МСЭ-Р Р.1546-6. Метод прогнозирования для трасс связи «пункта с зоной» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 4000 МГц.