

УДК 621.396.218:614.89.086.5

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СОТОВЫХ ТЕЛЕФОНОВ С УЧЕТОМ ГРАНИЦ БЛИЖНИХ ЗОН ИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

В.И. МОРДАЧЕВ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 25 мая 2016*

Приведены результаты анализа влияния физических ограничений модели сферической волны, используемой для описания электромагнитных излучений абонентских станций сотовой радиосвязи, на адекватность процедур вероятностной оценки их динамического диапазона у земной поверхности. Показано, что учет этих ограничений практически не сказывается на результатах этой оценки, но позволяет упростить методику вероятностной оценки уровней преобладающих сигналов абонентских станций сотовой связи в местах ее интенсивного использования.

Ключевые слова: электромагнитная обстановка, электромагнитная совместимость, электромагнитная нагрузка, электромагнитная экология, электромагнитная безопасность.

Введение

При анализе электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС) и электромагнитной безопасности населения с использованием вероятностных моделей электромагнитной обстановки (ЭМО) одной из важнейших процедур является процедура оценки уровня преобладающего сигнала (плотности потока мощности $\Pi_{N\max}$ преобладающего по интенсивности электромагнитного поля (ЭМП), динамического диапазона $D_{N\max}$ сигналов) в ансамбле N ЭМП, присутствующих в точке наблюдения (ТН) [1–3]. Суть этой процедуры состоит в определении значения энергетического параметра $D_{N\max}$ или $\Pi_{N\max}$ преобладающего сигнала в ТН, не превышаемого с заданной вероятностью p :

$$\Pi_{N\max}(p) = \arg\{F(\Pi_N) = p\}, \quad \Pi_N \in [\Pi_{\min}, \Pi_{\max}], \quad \Pi_{\max} \gg \Pi_{\min}, \quad (1.1)$$

$$D_{N\max}(p) = \arg\{F(D_N) = p\}, \quad D_N = \Pi_N / \Pi_{\min}; \quad D_N \in [1, \Pi_{\max} / \Pi_{\min}], \quad (1.2)$$

где Π_N, D_N – энергетические параметры наиболее мощного ЭМП из числа N присутствующих в ТН, по уровню превышающих порог Π_{\min} ; $F(\Pi_N), F(D_N)$ – функции распределения вероятностей параметров Π_N, D_N . С практической точки зрения интерес представляют случаи $p \geq 0,9$. Функции $F(\Pi_N), F(D_N)$ могут быть определены различными способами.

1. На основе анализа статистических закономерностей пуассоновского вероятностного режима равномерного случайного пространственного m -мерного расположения точечных источников ЭМП со средней пространственной плотностью ρ в окрестности ТН, в результате которого для источников ЭМП равной мощности может быть получена функция $F(D_H)$ распределения вероятности динамического диапазона D_H сигнала H -го по удаленности источника ЭМП [2–4]:

$$F(D_H) = \Gamma(H, N_a D_H^{-m/\nu}) / \Gamma(H), \quad D_H \in [0, \infty], \quad N_a \geq 0, H > 0, m > 0, \nu > 0; \quad (2)$$

$$\Gamma(H, N_a D_H^{-m/\nu}) = \int_{N_a D_H^{-m/\nu}}^{\infty} \exp(-x) \cdot x^{H-1} dx - \text{неполная гамма-функция второго вида};$$

в этих соотношениях ν – параметр, характеризующий условия распространения радиоволн (РРВ) от H -го по удаленности источника в ТН, при РРВ в свободном пространстве $\nu = 2$; N_a – условное среднее число точечных источников ЭМП, попадающих в некоторую круговую область радиусом R_{\max} с центром в ТН, в пределах которой условия РРВ постоянны, при условии, что плотность источников в пределах всей этой области равна их плотности в окрестности ТН; N_a равно среднему числу ЭМП в ТН с уровнями выше порога Π_{\min} , определяемого значением R_{\max} .

2. На основе анализа статистических характеристик k -ой порядковой статистики $D_{(k)}$ (в общем случае) в выборке объемом N значений интенсивности ЭМП, присутствующих в ТН [1, 5]:

$$F_N(D_{(k)}) = 1 - B'_{(D_{(k)}^{-m/\nu})}(H, N-H+1) / B(H, N-H+1); D_{(k)} \in [1, \infty] \quad (3)$$

$$B(H, N-H+1) = \int_0^1 t^{H-1} (1-t)^{N-H} dt = \Gamma(H)\Gamma(N-H+1) / \Gamma(N+1) - \text{бета-функция};$$

$$B'_{(D_{(k)}^{-m/\nu})}(H, N-H+1) = \int_0^{D_{(k)}^{-m/\nu}} t^{H-1} (1-t)^{N-H} dt - \text{неполная бета-функция}.$$

При РРВ в ТН на высоте $H_{\text{ТН}}$ над земной поверхностью от абонентских станций (АС) сотовой связи, располагаемых соответственно на высоте $H_{\text{АС}}$ над этой поверхностью, областью свободного РРВ от АС в ТН является область, ограниченная радиусом R_{BP} , за пределами которого начинает сказываться многолучевость РРВ. Для этого случая может быть принята модель РРВ [6], отражающая пессимистический характер оценки затуханий при РРВ в ТН от ближайших АС (модель «наихудшего случая» для оценки уровней нежелательных ЭМП):

$$\Pi = \begin{cases} P_e / (4\pi R^2), & R \leq R_{\text{BP}}; \\ R_{\text{BP}}^2 P_e / (4\pi R^4), & R \geq R_{\text{BP}}; \end{cases} \quad R_{\text{BP}} = 4H_{\text{ТН}}H_{\text{АС}} / \lambda, \quad (4)$$

где P_e – эквивалентная изотропно излучаемая мощность АС-источников ЭМП, $H_{\text{ТН}}$, $H_{\text{АС}}$ – высоты ТН и источника над поверхностью соответственно; λ – длина волны R – расстояние между ТН и АС – источником ЭМП.

При $\nu = 2$ (РРВ в свободном пространстве), $m = 2$ (территориальное размещение источников ЭМП) упрощение модели (2) при $H = 1$, а также модели (3) при $k = N \gg 1$, обеспечивает приведение процедуры (1.2) к следующему виду [1,2]:

$$D_{N_{\max}}(p) = -N / \ln p, \lim_{p \rightarrow 1} D_{N_{\max}}(p) = N / (1-p). \quad (5)$$

Использование процедуры (1.1), (1.2) обусловлено тем, что гиперболическое распределение вероятностей энергетического параметра ЭМП в ТН, характерное для случайного равномерного пространственного размещения источников ЭМП вокруг ТН и условий РРВ вида (4), не имеет начальных моментов [1, 5], что не позволяет оценивать средние значения уровней ЭМП в ТН.

Процедура (1.1), (1.2) с использованием моделей (2), (3) находит все большее применение при оценке критичности условий эксплуатации РЭС и используется, в частности, при оценке вынужденных экологических рисков от использования АС сотовой связи [3]. Тем не менее, до настоящего времени не исследован вопрос о влиянии физических ограничений модели РРВ (4), справедливой только за пределами ближней зоны электромагнитного излучения АС, на результаты прогноза значений $D_{N_{\max}}$, $\Pi_{N_{\max}}$, хотя именно область малых R формирует анализируемые области моделей (2)–(5).

Цель данной работы – анализ влияния физических ограничений модели (4) на адекватность процедуры (1.1), (1.2) и моделей (2)–(5) при прогнозе преобладающих уровней и

динамического диапазона ЭМП АС сотовой связи, а также создаваемого ими электромагнитного фона (ЭМФ), в ТН вблизи земной поверхности.

Исходные условия

Используем следующие условия и ограничения, характерные для задач анализа ЭМФ, создаваемого радиооборудованием сотовой связи.

1. Ограничимся рассмотрением случая, когда и высота АС H_{AC} , и высота ТН H_{TH} над плоской земной поверхностью соответствуют высоте человеческого роста: $H_{TH} \approx H_{AC} \approx 1,5-2$ м.

2. Ограничимся рассмотрением длин волн ЭМП $\lambda \approx 0,11-0,33$ м диапазона УНФ, соответствующих полосам частот сотовой связи GSM, UMTS, LTE. Для этих длин волн и высот над поверхностью радиус области свободного РРВ между АС и ТН составляет $R_{BP} \approx 25-150$ м.

3. С учетом данных [7, 8] о средней территориальной плотности АС ρ_{AC} и удельной интенсивности трафика E_{TP} в городах исследуем ситуации, при которых $\rho_{AC} = 10^3-10^5$ АС/км² ($10^{-3}-10^{-1}$ АС/м²) и $E_{TP} = 0,05-0,08$ Эрл.; в этих ситуациях средняя территориальная плотность излучающих АС $\rho_r = \rho_{AC} E_{TP} \approx 5 \cdot 10^{-5} \dots 10^{-2}$ единиц/м².

4. Принимая во внимание ограничения на возможные типы и электрические размеры антенн АС сотовой связи, введем следующие ограничения на область определения модели (4):

$$R_{\min} \leq R \leq R_{BP}, \quad R_{\min1} \leq R_{\min} \leq R_{\min2}; \quad R_{\min1} = \lambda / 2\pi; \quad R_{\min2} = \lambda / 2; \quad R_{\min3} = \pi\lambda / 2 \approx 1,6\lambda, \quad (6)$$

где $R_{\min1}$ – условная граница между дальней и ближней зонами элементарного вибратора, на которой отношение электрической и магнитной составляющих ЭМП приближается к 120π [9]; $R_{\min2}$ – условная граница дальней зоны для полуволнового вибратора в соответствии с [10], $R_{\min3}$ – условная граница дальней зоны для идеального диполя в соответствии с [11].

Результаты анализа

Введенные ограничения (6) на область определения модели (4) приводят к преодолению одной из наиболее существенных сложностей в использовании моделей (2),(3), связанной с отсутствием начальных моментов этих распределений.

1. При территориальном случайном равномерном распределении А – источников ЭМП ($m = 2$) со средней плотностью ρ_r ансамблю N_{ar} ЭМП в ТН от АС из ее окрестности радиуса R_{\max} ($R_{BP} \geq R_{\max} \gg R_{\min}$) соответствует гиперболическая плотность распределения вероятности абсолютного (Π) и относительного (B) значений энергетического параметра ЭМП:

$$w(\Pi) = \frac{\Pi_{\min} Q_0}{\Pi^2}, \quad m_1(\Pi) = \Pi_{\min} Q_0 \ln \frac{\Pi_{\max}}{\Pi_{\min}}, \quad \Pi_{\min} \leq \Pi \leq \Pi_{\max}; \quad (7.1)$$

$$w(B) = \frac{Q_0}{B^2}, \quad B = \frac{\Pi}{\Pi_{\min}}; \quad m_1(B) = Q_0 \ln B_{\max}, \quad 1 \leq B \leq B_{\max} = \frac{\Pi_{\max}}{\Pi_{\min}} = \left(\frac{R_{\max}}{R_{\min}} \right)^2; \quad (7.2)$$

$$\Pi_{\min} = \frac{P_e}{4\pi R_{\max}^2}, \quad \Pi_{\max} = \frac{P_e}{4\pi R_{\min}^2}; \quad Q_0 = \frac{\Pi_{\max}}{\Pi_{\max} - \Pi_{\min}} = \frac{B_{\max}}{B_{\max} - 1}, \quad N_{ar} = \rho_r \pi (R_{\max}^2 - R_{\min}^2) \approx \rho_r \pi R_{\max}^2.$$

2. В результате при равномерном случайном распределении излучающих АС с плотностью ρ_r по всей окрестности ТН радиуса R_{BP} может быть найдена средняя суммарная интенсивность (абсолютная $\Pi_{\Sigma a}$ и относительная B_{Σ}) ЭМП в ТН, определяемая в виде скалярной суммы соответствующих энергетических параметров ЭМП всех N_{ra} излучающих АС из данной окрестности:

$$\Pi_{\Sigma a} = N_{ra} m_1(\Pi) = \begin{cases} (L_{TMS}/4) \cdot \ln(64\pi^2 H_{TH}^4 / \lambda^4), & R_{\min} = \lambda/2\pi; \\ (L_{TMS}/4) \cdot \ln(64H_{TH}^4 / \lambda^4), & R_{\min} = \lambda/2; \\ (L_{TMS}/4) \cdot \ln(64H_{TH}^4 / (\pi^2 \lambda^4)), & R_{\min} = \lambda/2\pi; \end{cases} \quad (8)$$

$$B_{\Sigma} = N_{ra} m_1(B) = N_{ra} Q_0 \ln B_{\max}, N_{ra} = \rho_r \pi (R_{BP}^2 - R_{\min}^2) \approx 16\pi \rho_r H_{\text{ТН}}^4 / \lambda^2; L_{TMS} = P_e \rho_r. \quad (9)$$

Наличие (8), (9) позволяет расширить возможности подхода [12,13] к оценке суммарной интенсивности электромагнитного фона, создаваемого территориально распределенными АС мобильной связи, на основе оценки создаваемой ими электромагнитной нагрузки на территорию L_{TMS} , дополнив процедуру (1) процедурой оценки средней интенсивности ЭМФ, создаваемого АС у земной поверхности.

3. Аналогичным образом может быть определена средняя суммарная интенсивность ЭМП в ТН от АС, расположенных в области интерференционного РРВ ($R \geq R_{BP}$). При тех же характеристиках ρ_{AC} , P_e , E_{TP} пространственного размещения и функционирования АС ансамбль ЭМП этих АС, по уровню превышающих порог чувствительности радиоприема Π_{\min} , в ТН в силу особенностей модели (4) обладает следующими статистическими характеристиками [12]:

$$w(\Pi) = \frac{\sqrt{\Pi_{\max} \Pi_{\min}}}{2\Pi^{3/2} (\sqrt{\Pi_{\max}} - \sqrt{\Pi_{\min}})} \approx \frac{\sqrt{\Pi_{\min}}}{2\Pi^{3/2}}, \Pi_{\min} \leq \Pi \leq \Pi_{\max};$$

$$m_1(\Pi) = \sqrt{\Pi_{\max} \Pi_{\min}} = \frac{P_e}{4m^2 \pi R_{BP}^2}; \Pi_{\max} = \frac{P_e}{4\pi R_{BP}^2}, \Pi_{\min} = \frac{P_e}{4m^4 \pi R_{BP}^2};$$

$$\Pi_{\Sigma MSm} = \lim_{m \rightarrow \infty} (N_{arm} m_1(\Pi)) = \lim_{m \rightarrow \infty} \left(\frac{P_e \rho_r (m^2 - 1)}{4m^2} \right) = \frac{P_e \rho_r}{4} = \frac{L_{TMS}}{4}. \quad (10)$$

4. Соотношения (8),(10) позволяют уточнить ранее полученное в [12] значение радиуса R_{BPe} эквивалентной окрестности ТН со свободным РРВ от АС к ТН, АС которой создают в ТН электромагнитный фон, интенсивность которого равна сумме интенсивностей компонент (8) и (10), создаваемых соответственно как множеством АС из окрестности радиуса R_{BP} , так и множеством АС за ее пределами:

$$R_{BPe} = R_{BP} \sqrt{e} \approx 1,65 R_{BP}. \quad (11)$$

5. Плотность распределения максимального значения $\Pi_{(N)}$ в выборке значений объемом N , распределенных по закону (7.1), может быть определена по методике [14]:

$$w(\Pi_{(N)}) = N \left[F(\Pi_{(N)}) \right]^{N-1} w(\Pi_{(N)}) = N Q_0^N \left(1 - \frac{\Pi_{\min}}{\Pi_{(N)}} \right)^{N-1} \frac{\Pi_{\min}}{\Pi_{(N)}^2}; \quad (12.1)$$

плотность распределения максимального значения $D_{(N)}$ в выборке объемом N :

$$w(D_{(N)}) = N Q_0^N \left(1 - \frac{1}{D_{(N)}} \right)^{N-1} \frac{1}{D_{(N)}^2}, \quad 1 \leq D_{(N)} \leq D_{(N)\max} = \frac{\Pi_{\max}}{\Pi_{\min}}; \quad (12.2)$$

функция распределения вероятности N -ой порядковой статистики $D_{(N)}$ в выборке объемом N :

$$F(D_{(N)}) = N Q_0^N \left(B(1, N) - B_{\frac{1}{D_{(N)}}}(1, N) \right); \quad 1 \leq D_{(N)} \leq D_{(N)\max}; \quad (12.3)$$

матожидание N -ой порядковой статистики $D_{(N)}$ в выборке объемом N :

$$m_1(D_{(N)}) = \int_1^{D_{(N)\max}} D_{(N)} w(D_{(N)}) dD_{(N)} = N Q_0^N \int_1^{D_{(N)\max}} \left(1 - \frac{1}{D_{(N)}} \right)^{N-1} \frac{dD_{(N)}}{D_{(N)}}. \quad (13)$$

В пределе с учетом [15, формула 9.558]

$$\lim_{D_{(N)\max} \rightarrow \infty} (m_1(D_{(N)})) = N \cdot \ln(D_{(N)\max}). \quad (14)$$

Таким образом, при большом динамическом диапазоне сигналов в ТН соотношения (9) и (14) совпадают, т.е. средняя суммарная интенсивность (9) ЭМФ определяется средней интенсивностью наиболее мощного ЭМП в ТН. Это подтверждает вывод [2] о том, что интенсивность ЭМФ в ТН определяется уровнем преобладающего ЭМП.

На рис. 1–3 для идентичных условий формирования ЭМО в ТН ($\lambda = 0,15\text{ м}$, $H_{\text{ТН}} \approx H_{\text{АС}} \approx 2\text{ м}$) и $R_{\text{min}1} = \lambda/(2\pi)$ (рис. 1), и $R_{\text{min}2} = \lambda/2$ (рис. 2) и $R_{\text{min}1} = \pi\lambda/2$ (рис. 3) приведены расчетные зависимости квантилей (1) от средней территориальной плотности АС ρ_r , полученные для распределения (12.3) (штрих-пунктирные кривые) и для распределения (2) в форме (5) (сплошные кривые) при $p = 0,9$ (семейство 1), при $p = 0,99$ (семейство 2), при $p = 0,999$ (семейство 3) и при $p = 0,9999$ (семейство 4). Сравнение этих зависимостей свидетельствует о том, что в условиях, представляющих наибольший практический интерес ($\rho_r \leq 10^{-2}\text{ АС/м}^2$ для $0,9 \leq p \leq 0,99$), введение ограничений на минимальное расстояние между ТН и АС не приводит к заметным погрешностям в оценках (1) с использованием моделей (2),(3),(5) с областью определения, не ограниченной справа.

6. Приравняв (5) и (9), а также (5) и (14), можно убедиться, что вероятность превышения среднего суммарного относительного уровня ЭМФ в ТН относительным уровнем преобладающего сигнала (динамическим диапазоном D_N сигнала ближайшей излучающей АС, либо значением N -ой порядковой статистики $D_{(N)}$ в выборке объемом N) не зависит от объема выборки (сложности ЭМО) и определяется следующим соотношением:

$$p(D_{N\text{max}} \leq B_\Sigma) \approx p(D_{(N)} \leq B_\Sigma) \approx \exp\left(-1/\left(Q_0 \ln\left(D_{(N)\text{max}}\right)\right)\right) \approx \exp\left(-1/\ln\left(D_{(N)\text{max}}\right)\right). \quad (15)$$

Эта вероятность для полос частот мобильной связи диапазона UHF (0,8–3 ГГц) и высот 1,5–2 м над поверхностью составляет не менее 0,9–0,93. Таким образом, если достаточный уровень электромагнитной безопасности обеспечивается при превышении уровнем ЭМП АС с вероятностью $p \geq 0,9$, то учет вклада ЭМП АС в совокупную интенсивности ЭМФ в ТН может производиться прямым суммированием среднего значения (8).

7. Уровню $p \geq 0,99$, принятому в [3], примерно соответствует уровень

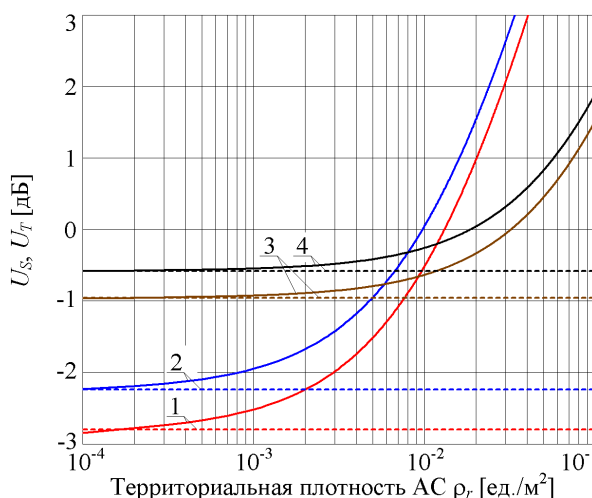
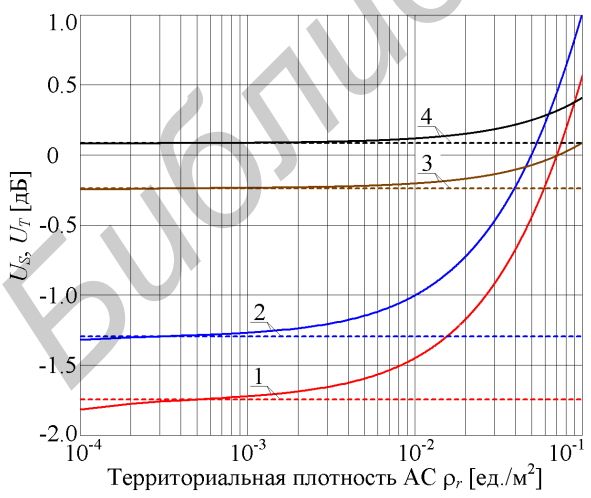
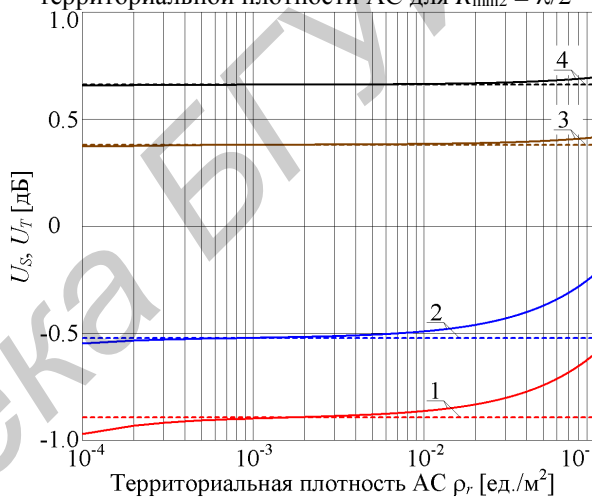
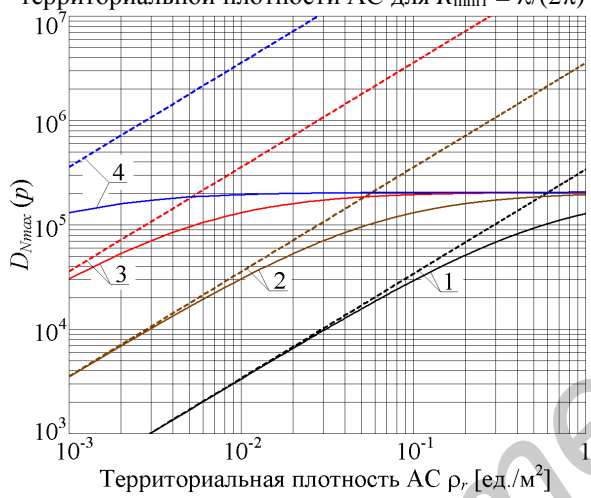
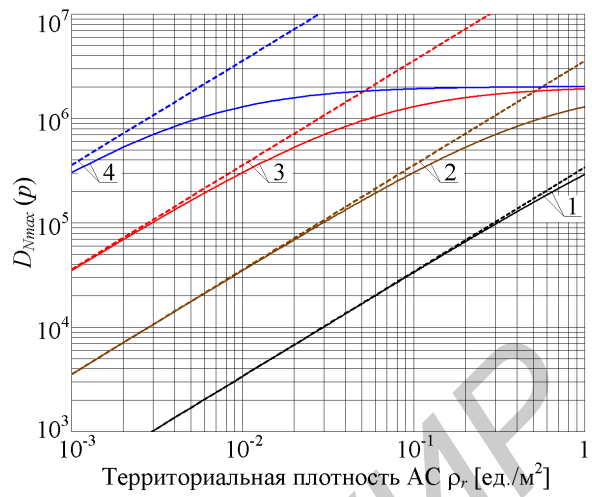
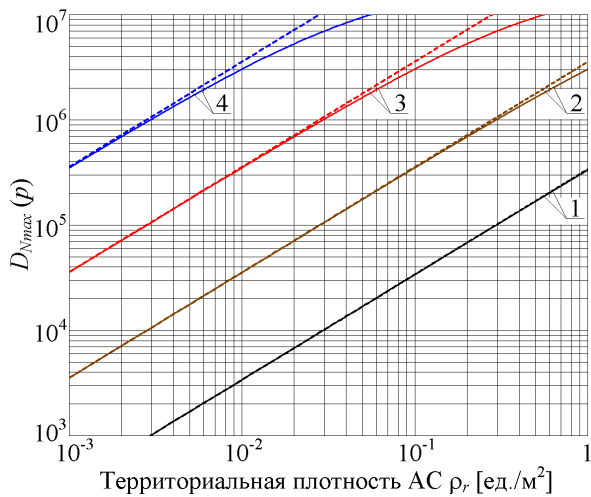
$$B_{\Sigma(p=0,99)} \approx 2\pi N_a m_1(B) = 2\pi N_a Q_0 \ln B_{\text{max}}. \quad (16)$$

Этот уровень может непосредственно сравниваться с принятым значением ПДУ в случаях, когда уровень ЭМП в точке наблюдения определяется излучением ближайшего АС, например, в местах массового скопления людей.

Погрешности использования уровня (16) вместо квантилей распределений (12.3) и (2) по уровню $p \geq 0,99$ удобно оценивать отношениями

$$U_S = \frac{B_{\Sigma(p=0,99)}}{D_{(N)}(p=0,99)}, \quad D_{(N)}(p=0,99) = \arg\left\{F\left(D_{(N)}\right) = 0,99\right\}; \quad U_T = \frac{B_{\Sigma(p=0,99)}}{D_{N\text{max}}(0,99)}. \quad (17)$$

На рис. 4–6 для $\lambda = 0,15\text{ м}$ и $R_{\text{min}1} = \lambda/(2\pi)$ (рис. 4), и $R_{\text{min}2} = \lambda/2$ (рис. 5) и $R_{\text{min}1} = \pi\lambda/2$ (рис. 6) приведены расчетные зависимости отношений U_S (сплошные линии) и U_T (пунктирные линии) от территориальной плотности ρ_r излучающих АС для различных высот $H_{\text{ТН}} \approx H_{\text{АС}}$ ТН и АС над поверхностью и различных рабочих частот f : снизу вверх расположены пары зависимостей $U_S(\rho_r)$ и $U_T(\rho_r)$ соответствующие $H_{\text{ТН}} = 1,5\text{ м}$, $f = 1\text{ ГГц}$ (семейство 1); $H_{\text{ТН}} = 2\text{ м}$, $f = 1\text{ ГГц}$ (семейство 2); $H_{\text{ТН}} = 1,5\text{ м}$, $f = 3\text{ ГГц}$ (семейство 3); $H_{\text{ТН}} = 2\text{ м}$, $f = 3\text{ ГГц}$ (семейство 4). Анализ этих зависимостей свидетельствует о том, что погрешности использования уровня (16) вместо квантилей распределений (12.3) и (2) по уровню $p \geq 0,99$ при оценке электромагнитной безопасности населения на социально-значимых объектах по методике [3] не превышают 2–3 дБ и уменьшаются с увеличением ρ_r , f , $H_{\text{ТН}}$ и R_{min} ; они минимальны на частотах GSM-1800, CDMA и LTE, а также в критических ситуациях, соответствующих наиболее высокой плотности излучающих АС, что может наблюдаться в местах массового скопления абонентов сотовой связи. Это делает возможным применение соотношения (16) при реализации процедур [3].



Заключение

Применительно к АС сотовой связи, электрическая длина антенн которых не превышает $\lambda/2$, ограничение $R_{\min} \approx 1,6\lambda$, соответствующее условной границе ближней и дальней зон электромагнитного излучения идеального диполя, при реальных значениях территориальной плотности АС в режиме излучения не оказывает существенного влияния на адекватность процедуры (1) с использованием моделей (2), (3), (5), но позволяет существенно упростить вероятностную оценку уровней преобладающих сигналов АС сотовой связи в местах ее интенсивного использования и прогноз суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого абонентским оборудованием сотовых радиосетей. В этих условиях уменьшение электрической длины волны антенн АС, уменьшающее условный радиус ближней зоны излучения АС по сравнению с $R_{\min} \approx 1,6\lambda$, практически не влияет на объективность оценок с использованием (2),(3),(5),(8),(9),(12.1)–(15), за исключением рабочих частот вблизи нижней границы полосы частот современной сотовой связи ($\approx 1,0$ ГГц). При локальной концентрации АС в окрестности ТН на малоразмерных объектах в приведенных выше моделях вместо радиуса зоны свободного РРВ R_{BP} следует использовать оценочное значение радиуса области концентрации АС $R_{\max} < R_{BP}$. Поскольку суммарный уровень ЭМФ в ТН определяется уровнем преобладающего ЭМП АС, уменьшение размеров анализируемой окрестности ТН практически не повлияет на результаты анализа с использованием (2), (3), (7.1)–(9), (12.1)–(15); определяющее влияние будут оказывать значения ρ_r , E_{TP} , P_e в этой окрестности.

ESTIMATION OF THE DYNAMIC RANGE FOR ELECTROMAGNETIC FIELDS OF CELLULAR PHONES TAKING INTO ACCOUNT NEAR-FIELD ZONES OF THEIR ANTENNAS

V.I. MORDACHEV

Abstract

Results of the analysis of physical limits influence of the spherical wave model used for representation of an electromagnetic radiation of cellular phones on procedures adequacy of the probability estimation of its electromagnetic fields dynamic range near ground surface, are resulted. It is indicated, that taking into account these limitations practically does not affect on results of this estimation, but allows to simplify the procedure of a probability estimation of levels of predominating signals of cellular phones in places of its heavy use.

Keywords: electromagnetic environment, electromagnetic compatibility, electromagnetic ecology, electromagnetic loading, electromagnetic safety.

Список литературы

1. Мордачев В.И. Системная экология сотовой радиосвязи. Минск, 2009.
2. Mordachev V., Loyka S. // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 27, № 7. P.1120–1131.
3. Оценка риска для здоровья населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями сотовой подвижной электросвязи и широкополосного беспроводного доступа. Инструкция по применению.
4. Мордачев В.И. // Труды IX Междунар. Вроцлавского симп. по электромагнитной совместимости. Июнь 1988. С. 571–576.
5. Mordachev V. // The IEEE Semi Annual VTC Fall 2000. Boston, Sept. 24–28 2000.
6. Rec. ITU-R P.1411-8. Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz.
7. Rec. ITU-R M.1390. Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements.
8. Louail T. From mobile phone data to the spatial structure of cities. Sci. Rep. 4, 5276; DOI:10.1038/srep05276 (2014).
9. Ott H.W. Noise reduction techniques in electronic systems. 2nd edition. John Wiley & Sons, 1988. P. 159–161.
10. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. М., 1975.
11. Stutzman W.L., Thiele G.A. Antenna theory and Design. Wiley, 2012, P. 42–43.
12. Мордачев В.И. // Докл. БГУИР. 2012. № 7 (69). С. 25–33.
13. Мордачев В.И. // Докл. БГУИР. 2016. № 1 (95). С. 38–44.
14. Коршунов Д.А., Чернова Н.И. Сборник задач и упражнений по математической статистике. Новосибирск, 2004. С. 12, п. 1.18.