

УДК 621.396.218:614.89.086.5

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ФОН, СОЗДАВАЕМЫЙ БАЗОВЫМ И АБОНЕНТСКИМ РАДИООБОРУДОВАНИЕМ СОТОВЫХ РАДИОСЕТЕЙ

В.И. МОРДАЧЕВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 1 июня 2015

Предложена методика оценки суммарной интенсивности электромагнитного фона, создаваемого базовым и абонентским радиооборудованием сотовой связи, основанная на оценке электромагнитной нагрузки на территорию, создаваемой этим оборудованием. Методика применима для сотовых радиосетей всех действующих и перспективных стандартов и поколений и обеспечивает возможность оценки вынужденных экологических рисков от использования сотовой связи в местах с высокой плотностью населения.

*Ключевые слова:* радиоэлектронная обстановка, электромагнитная нагрузка, электромагнитная экология, электромагнитная безопасность.

### Введение

Чрезвычайно интенсивное развитие сотовой связи является причиной существенного увеличения электромагнитного фона (ЭМФ) в местах с высокой плотностью населения. В этой связи разработка практической методики оценки интенсивности этой составляющей суммарного ЭМФ, фактически определяющей электромагнитную экологию среды обитания и уровень электромагнитной безопасности населения, является весьма актуальной.

В [1–4] введено и развито понятие электромагнитной нагрузки (ЭМН) на территорию как интегральной системной характеристики электромагнитной безопасности радиоэлектронной обстановки (РЭО) и электромагнитной экологии территорий городской застройки. Электромагнитная нагрузка на территорию, создаваемая радиооборудованием сотовой сети, определяется как суммарная эквивалентная изотропно излучаемая мощность (ЭИИМ) абонентских (АС) либо базовых станций (БС) сотовой связи, приходящаяся на единицу площади территории. В [1–4] даны оценки влияния этой характеристики РЭО на параметры электромагнитной обстановки (ЭМО) вблизи земной поверхности, создаваемой как стационарными, так и мобильными радиоэлектронными средствами (РЭС) – источниками электромагнитных полей (ЭМП). В этих работах установлены аналитические зависимости ЭМН на территорию, создаваемой отдельными видами радиооборудования сотовой связи стандарта GSM, с ЭМН от этого оборудования на население, определяемой суммарной интенсивностью ЭМП от БС либо АС вблизи земной поверхности, а также связь ЭМН на территорию с вероятностью  $p$  превышения суммарной интенсивностью всех ЭМП в точке наблюдения у земной поверхности предельно допустимого уровня (ПДУ) ЭМП, регламентируемого действующими санитарно-гигиеническими нормативами [5–7]. Применительно к сотовой связи эти исследования выполнены в предположении независимости электромагнитных излучений базового и абонентского оборудования.

На самом деле и ЭМП БС и АС, и создаваемая ими ЭМН на территорию, а также совокупные уровни ЭМФ от стационарного и мобильного сегментов радиооборудования сотовой связи взаимозависимы и непосредственно связаны с нагрузкой на сеть, создаваемой

множеством абонентов, находящихся на данной территории и обращающихся к услугам сотовой связи в рассматриваемый период.

Цель данной работы – с использованием подхода [1–4] разработать методику оценки суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого и базовым, и абонентским радиооборудованием сотовой связи, на основе анализа создаваемой этим оборудованием ЭМН на территорию в часы максимальной нагрузки сети.

### Исходные модели и соотношения

1. Электромагнитная нагрузка на территорию  $L_T$  от ЭМП РЭС, характеризующихся средней ЭИИМ  $P_e$  и средней территориальной плотностью  $\rho$  РЭС, определена в [1–3] следующим образом:

$$L_T = P_e \rho. \quad (1)$$

2. Для описания случайного размещения РЭС в пространстве используем известную модель равномерного пуассоновского случайного распределения РЭС как точечных источников ЭМП по плоской поверхности:

$$p_k(N_{\Delta S}) = (N_{\Delta S}^k \exp(-N_{\Delta S})) / k!, \quad N_{\Delta S} = \rho \cdot \Delta S, \quad (2)$$

где  $p_k(N_{\Delta S})$  – вероятность попадания в некоторый элемент  $\Delta S$  поверхности ровно  $k$  точечных источников ЭМП, если среднее число источников ЭМП в этом элементе равно  $N_{\Delta S}$ ;  $\rho$  – средняя территориальная плотность источников ЭМП. Дополнительно будем считать, что случайное размещение РЭС как точечных источников ЭМП по плоской поверхности предполагает их расположение на определенной высоте  $H$  над земной поверхностью.

3. В качестве модели условий РРВ от РЭС в точку наблюдения со случайными координатами, расположенную на высоте  $H_{OP}$  над поверхностью, используем известную составную модель [8], для которой характерно следующее:

– на небольшом удалении  $R$  РЭС от точки наблюдения условия РРВ соответствуют условиям РРВ в свободном пространстве;

– начиная с некоторой дистанции  $R_{BP}$  условия РРВ для РЭС рассматриваемого вида меняются: плотность потока мощности  $\Pi$  ЭМП РЭС убывает обратно пропорционально четвертой степени расстояния в связи с многолучевостью РРВ; граница  $R_{BP}$  между зонами «свободного» и «интерференционного» РРВ (положение точки “breakpoint”) зависит от высоты подвеса антенн  $H$  РЭС рассматриваемого вида и высоты  $H_{OP}$  точки наблюдения над земной поверхностью и определяется следующим известным соотношением:

$$R_{BP} = 4H_{OP}H/\lambda, \quad (3)$$

где  $\lambda$  – длина волны ЭМП РЭС рассматриваемого вида.

На удаленности РЭС от точки наблюдения менее  $R_{BP}$  используется следующая общепринятая модель условий РРВ в свободном пространстве:

$$\Pi = P_e / 4\pi R^2, \quad R \leq R_{BP}, \quad (4)$$

где  $\Pi$  – плотность потока мощности ЭМП, образуемая РЭС на удаленности  $R$ , Вт/м<sup>2</sup>,  $P_e$  – ЭИИМ электромагнитного излучения РЭС данного вида.

На удаленности РЭС от точки наблюдения более  $R_{BP}$  используется следующая модель, характерная для условий интерференционного (многолучевого) РРВ:

$$\Pi = R_{BP}^2 P_e / (4\pi R^4), \quad R \geq R_{BP}. \quad (5)$$

4. Соотношения, полученные с использованием (1)–(5) и обеспечивающие возможность оценки отдельных компонент ЭМФ, создаваемого стационарными и подвижными радиопередатчиками сотовой радиосети, для различных вариантов взаимного размещения

точки наблюдения вблизи земной поверхности по отношению к стационарным (БС) и мобильным (АС) РЭС сотовой связи, приведены в [1–4].

### Электромагнитный фон, создаваемый радиооборудованием сотовой сети

Удельная территориальная нагрузка сотовой радиосети, равная территориальной плотности АС «в активном состоянии» (в состоянии электромагнитного излучения)  $\rho_{MS}$ , является важнейшей характеристикой сотовой связи, определяемой территориальной плотностью абонентов  $\rho_S$  (фактически – плотностью населения) и удельной интенсивностью трафика  $E$  [Эрл.]:  $\rho_{MS} = \rho_S E$ . В периоды наибольшей интенсивности трафика (часы максимальной нагрузки сети)  $E = 0,025 \dots 0,08$ , с учетом имеющих место тенденций удешевления услуг сотовой связи и массового «многослойного» охвата ими населения в качестве среднего значения при выполнении оценок целесообразно принять  $E = 0,05 \dots 0,055$ .

Эквивалентная изотропно излучаемая мощность АС является случайной величиной в связи с наличием в сети принудительной регулировки мощности электромагнитного излучения АС (в диапазоне 30 дБ с шагом 2–3 дБ в сетях GSM и в диапазоне более 70 дБ с шагом 0,25–1,5 дБ в сетях UMTS/CDMA) [9–11], среднее значение  $m_1(P_{MS})$  ЭИИМ АС определяется наряду с другими факторами условиями РРВ между АС и БС и может быть принято равным  $1/2 \dots 1/3$  от максимального значения [12].

Каждая АС в активном состоянии использует канал связи (канал трафика) с БС, при этом ЭИИМ БС  $P_{ceBS}$ , приходящаяся на этот канал, существенно превышает ЭИИМ АС:

$$P_{ceBS}[dBW] = P_{eMS}[dBW] + \Delta_{eBM}, \quad \Delta_{eBM} = G_{ABS}[dB] - G_{AMS}[dB] + D_{UD}[dB], \quad (6)$$

где  $G_{ABS}$ ,  $G_{AMS}$  – коэффициенты усиления антенн БС и АС,  $D_{UD}$  – разница в энергетике радиолиний «вниз» и «вверх», необходимая для обеспечения функционирования сети. Как правило, в системах сотовой связи коэффициенты усиления антенн БС и АС отличаются на 15–18 дБ, и разница  $\Delta_{eBM}$  в средней ЭИИМ БС, приходящаяся на один канал трафика, и средней ЭИИМ АС, могут достигать 20–25 дБ.

Используя результаты [1–4], получим соотношения для определения суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого совместно совокупностью АС и БС сотовой связи.

1. Интенсивность ЭМФ, создаваемого в точке наблюдения у земной поверхности совокупностью БС в часы максимальной нагрузки сети, определяется соотношением:

$$\Pi_{\Sigma BS} \approx \frac{L_{TBS}}{2} \ln \left( \frac{6,6H_{OP}}{\lambda} \right) = \frac{L_{TMS} \Delta_{eBM}}{2} \ln \left( \frac{6,6H_{OP}}{\lambda} \right), \quad L_{TBS} = L_{TMS} \Delta_{eBM}. \quad (7)$$

где  $L_{TBS}$ ,  $L_{TMS}$  – средняя ЭМН на территорию, создаваемая БС и АС соответственно.

2. Совокупная интенсивность ЭМФ, создаваемого в точке наблюдения у земной поверхности множеством АС в часы максимальной нагрузки сети, определяется соотношением:

$$\Pi_{\Sigma MS} \approx \frac{L_{TMS} (Z+1)}{4} + \frac{L_{TMS}}{4p} = \frac{L_{TMS}}{4} \left( Z+1 + \frac{1}{p} \right), \quad (8)$$

$$Z = \sum_{H=2}^{\text{int}\{N_A\}} \frac{1}{H-1}, \quad N_A = \pi \rho_{MS} R_{BPMS}^2, \quad R_{BPMS} = \frac{4H_{OP}^2}{\lambda}.$$

3. Суммарная ЭМН на территорию  $L_{T\Sigma}$ , создаваемая радиооборудованием сотовой связи, равна  $L_{T\Sigma} = L_{TBS} + L_{TMS} = L_{TMS}(\Delta_{eBM} + 1)$ . Суммарная интенсивность ЭМФ, образуемого БС и АС в точке наблюдения на высоте  $H_{OP}$  над земной поверхностью, может быть определена следующим образом:

$$\Pi_{\Sigma BG} = \Pi_{\Sigma BS} + \Pi_{\Sigma MS} \approx \frac{L_{TMS}}{2} \left( \Delta_{eBM} \ln \left( \frac{6,6H_{OP}}{\lambda} \right) + \frac{1}{2} \left( Z+1 + \frac{1}{p} \right) \right), \quad p \leq 0,1. \quad (9)$$

4. В случаях малой доверительной вероятности и малых значений  $Z$ , характерных при малых значениях  $\rho_{MS}$  и/или  $R_{BP}$ , соотношение (9) для оценки суммарной интенсивности ЭМФ,

создаваемого БС и АС в точке наблюдения на высоте  $H_{OP}$  над земной поверхностью, может быть упрощено следующим образом:

$$P_{\Sigma BG} \approx \frac{L_{TMS}}{2} \left( \Delta_{eBM} \ln \left( \frac{6,6 H_{OP}}{\lambda} \right) + \frac{1}{2p} \right), \quad p \leq 0,1. \quad (10)$$

Разница между значениями (9) и (10) равна  $L_{TMS}(Z+1)/4$  и при представляющих практический интерес значениях  $L_{TMS} \leq 10^{-4}$ ,  $Z < 10$  она не превышает 1 % от значения, полученного с использованием (9), или  $(1...2)10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup> ( $(1...2)10^{-2}$  мкВт/см<sup>2</sup>).

### Расчетные оценки интенсивности ЭМФ, создаваемого сотовыми радиосетями

На рис. 1–6 приведены семейства расчетных кривых, иллюстрирующих зависимости оценочных значений интенсивности суммарного ЭМФ, создаваемого радиоборудованием сотовой связи, от создаваемого этим оборудованием средней ЭМН на территорию, а также от уровня доверительной вероятности  $p$  при оценках вынужденных экологических рисков, связанных с влиянием ЭМФ на здоровье населения, а также от принятого превышения ЭИИМ БС над ЭИИМ АС. Расчеты выполнены для  $\lambda = 0,167$  м (полоса частот GSM-1800).

На рис. 1 приведены зависимости суммарной интенсивности ЭМФ  $P_{\Sigma BG}$  [Вт/м<sup>2</sup>] и интенсивности его отдельных компонент в точке наблюдения, от доверительной вероятности  $p$  при средней ЭМН на территорию, создаваемой АС,  $L_{TMS} = 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup>, и  $\Delta_{eBM} = 100$  (20 дБ): кривая 1 соответствует суммарной интенсивности ЭМФ, определяемой соотношениями (9), (10), горизонтальная прямая 2 соответствует интенсивности слагаемого ЭМФ, создаваемого ЭМП БС, кривая 3 соответствует интенсивности в точке наблюдения преобладающего ЭМП от ближайшей АС, кривая 4 соответствует суммарной интенсивности ЭМФ (8), создаваемого в точке наблюдения всей совокупностью АС.

На рис. 2 приведены зависимости суммарной интенсивности ЭМФ  $P_{\Sigma BG}$  [Вт/м<sup>2</sup>] от доверительной вероятности  $p$  при  $\Delta_{eBM} = 100$  (20 дБ) и различных уровнях средней ЭМН на территорию, создаваемой АС:  $L_{TMS} = 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup> (кривая 1),  $L_{TMS} = 10^{-5}$  Вт/м<sup>2</sup> (кривая 2) и  $L_{TMS} = 10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup> (кривая 3); горизонтальная прямая 4 соответствует ПДУ ЭМП 10 мкВт/см<sup>2</sup> (0,1 Вт/м<sup>2</sup>), регламентируемого [5–7].



Рис. 1. Зависимости суммарной интенсивности ЭМФ и интенсивности его отдельных компонент от доверительной вероятности  $p$  при  $L_{TMS} = 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup>,  $\Delta_{eBM} = 20$  дБ

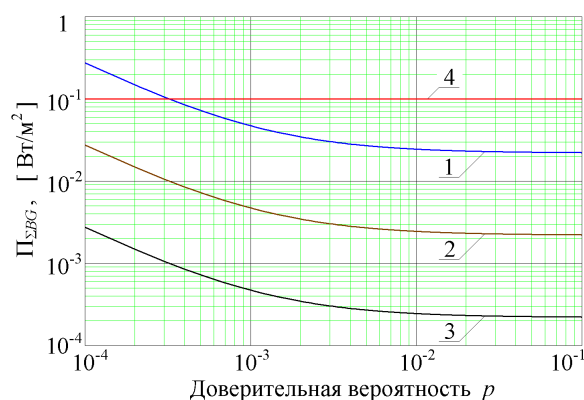


Рис. 2. Зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от доверительной вероятности  $p$  при  $\Delta_{eBM} = 20$  дБ и различных уровнях средней ЭМН на территорию, создаваемой АС:

Анализ кривых рис. 1, 2 позволяет сделать вывод, что влияние ЭМП АС на суммарный уровень ЭМФ в точке наблюдения у земной поверхности на высоте человеческого роста оказывается существенным при уровнях доверительной вероятности  $p \leq 10^{-2}$ . Вместе с тем, различия в оценках вклада ЭМП АС в суммарную интенсивность ЭМФ с учетом и без учета слагаемого ЭМФ, создаваемого всеми АС, кроме преобладающего, оказываются заметными только в области  $p > 10^{-2}$ . Поэтому, в целом, при равномерном случайном распределении АС по земной поверхности и существенном превышении  $\Delta_{eBM}$  ЭИИМ БС над средним ЭИИМ АС вкладом ЭМП АС, за исключением вклада ЭМП ближайшей АС, в формирование совокупной интенсивности ЭМФ у земной поверхности можно пренебречь.

На рис. 3 приведены зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от средней ЭМН на территорию, создаваемой АС, при  $\Delta_{eBM} = 100$  (20 дБ) и различных уровнях доверительной вероятности: кривая 1 соответствует  $p = 10^{-1}$ , кривая 2 соответствует  $p = 10^{-2}$ , кривая 3 соответствует  $p = 10^{-3}$ , кривая 4 соответствует  $p = 10^{-4}$ , горизонтальная прямая 5 соответствует ПДУ ЭМП  $0,1 \text{ Вт/м}^2$ .

Анализ кривых рис. 3 подтверждает целесообразность регламентации доверительной вероятности, определяющей уровень электромагнитной безопасности населения, на уровне  $p = 10^{-2}$ , реализованной в [13]. Выбор  $p \geq 10^{-2}$  практически не приводит к ужесточению требований, направленных на ограничение электромагнитных излучений оборудования сотовой связи. В то же время при уменьшении доверительной вероятности по отношению к уровню  $p = 10^{-2}$  наблюдается резкое уменьшение критических уровней ЭМН на территорию, при которых суммарная интенсивность ЭМФ, создаваемая РЭС сотовой связи, достигает ПДУ.

На рис. 4 приведены зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от средней ЭМН на территорию, создаваемой АС, при различных  $\Delta_{eBM}$  для доверительной вероятности  $p = 0,01$ : кривая 1 соответствует  $\Delta_{eBM} = 10$  дБ, кривая 2 соответствует  $\Delta_{eBM} = 15$  дБ, кривая 3 соответствует  $\Delta_{eBM} = 20$  дБ, кривая 4 соответствует  $\Delta_{eBM} = 25$  дБ, горизонтальная прямая 5 соответствует ПДУ ЭМП  $0,1 \text{ Вт/м}^2$ .

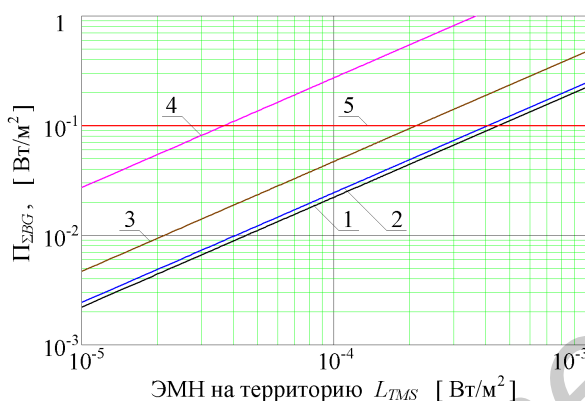


Рис. 3. Зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от средней ЭМН на территорию, создаваемой АС, при  $\Delta_{eBM} = 20$  дБ и различных значениях доверительной вероятности

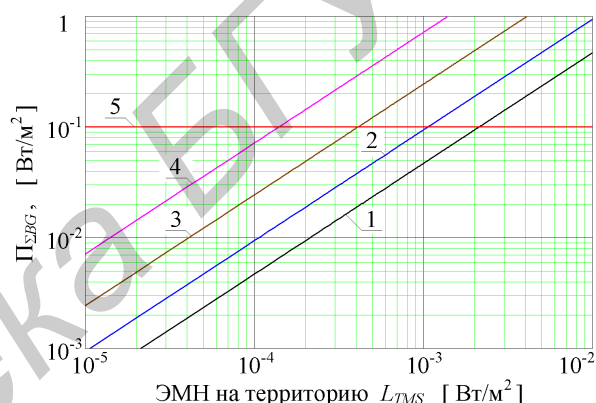


Рис. 4. Зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от средней ЭМН на территорию, создаваемой АС, при различных  $\Delta_{eBM}$  для доверительной вероятности  $p = 0,01$

Анализ графиков рис. 4 позволяет сделать вывод, что разница  $\Delta_{eBM}$  в ЭИИМ БС, приходящаяся на канал трафика, и ЭИИМ АС, является важнейшим фактором, определяющим степень преобладания интенсивности ЭМФ от стационарных источников ЭМП, являющихся частью инфраструктуры сотовой связи, над суммарной интенсивностью ЭМП АС у земной поверхности. Эта разница в энергетике радиолиний «вниз» и «вверх», необходимая для обеспечения функционирования сети, в числе прочих факторов зависит от качества частотно-территориального планирования сотовой радиосети (от уровней внутрисетевых помех) и может быть уменьшена за счет увеличения объема используемого сетью радиочастотного ресурса, развития инфраструктуры и оптимизации частотно-территориальной структуры сети.

На рис. 5 приведены зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от доверительной вероятности  $p$  при  $\Delta_{eBM} = 100$  (20 дБ) и средней ЭМН на территорию, создаваемой АС,  $L_{TMS} = 10^{-4} \text{ Вт/м}^2$ , для различных уровней локального превышения  $D_L = L_{TMSL}/L_{TMS}$  средней ЭМН на территорию, создаваемой АС в окрестности точки наблюдения, по сравнению со средней ЭМН на территорию, создаваемой АС:  $D_L = 0$  дБ ( $L_{TMSL} = L_{TMS}$ , кривая 1),  $D_L = 5$  дБ ( $L_{TMSL} = 3,16 L_{TMS}$ , кривая 2),  $D_L = 10$  дБ ( $L_{TMSL} = 10 L_{TMS}$ , кривая 3),  $D_L = 15$  дБ ( $L_{TMSL} = 31,6 L_{TMS}$ , кривая 4),  $D_L = 20$  дБ ( $L_{TMSL} = 100 L_{TMS}$ , кривая 5); горизонтальная прямая 6 соответствует ПДУ ЭМП.

На рис. 6 приведены зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от средней ЭМН на территорию, создаваемой АС, при  $p = 0,01$  и  $\Delta_{eBM} = 100$  (20 дБ) для различных уровней локального превышения  $D_L$  средней ЭМН на территорию, создаваемой АС в окрестности точки наблюдения, по сравнению со средней ЭМН на территорию, создаваемой АС:  $D_L = 0$  дБ

(кривая 1),  $D_L = 5$  дБ (кривая 2),  $D_L = 10$  дБ (кривая 3),  $D_L = 15$  дБ (кривая 4),  $D_L = 20$  дБ (кривая 5); горизонтальная прямая 6 соответствует ПДУ ЭМП.

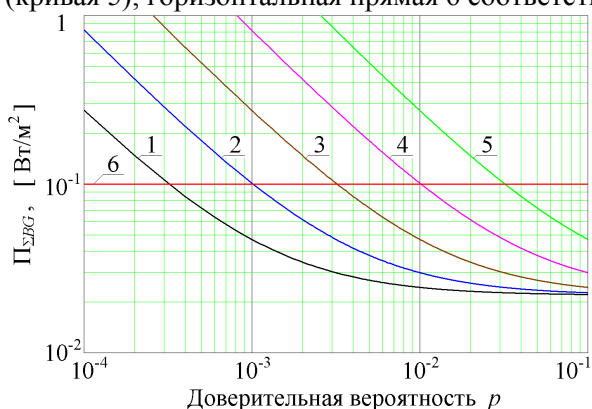


Рис. 5. Зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от доверительной вероятности  $p$  при  $\Delta_{eBM} = 20$  дБ и  $L_{TMS} = 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup>, для различных уровней  $D_L$  локального превышения в окрестности точки наблюдения средней ЭМН на территорию, создаваемой АС

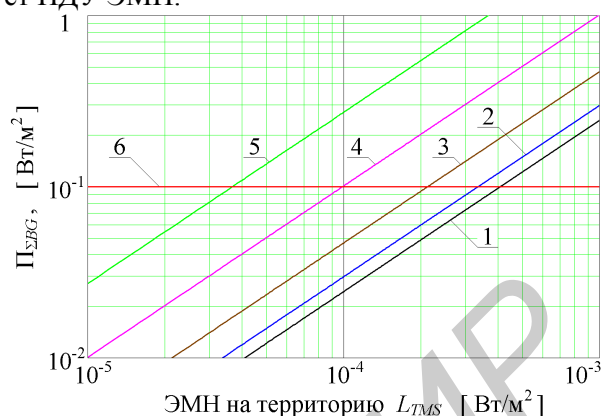


Рис. 6. Зависимости суммарной интенсивности ЭМФ от средней ЭМН на территорию, создаваемой АС, при  $p = 0,01$  и  $\Delta_{eBM} = 20$  дБ для различных уровней  $D_L$  локального превышения в окрестности точки наблюдения средней ЭМН на территорию, создаваемой АС

Локальное превышение  $D_L$  средней ЭМН на территорию, создаваемой АС в окрестности точки наблюдения, до уровня  $L_{TMSL}$  по сравнению со средней ЭМН на территорию  $L_{TMS}$ , создаваемой АС в зоне обслуживания сети, может создаваться на локальных малоразмерных объектах (в общественном транспорте, в местах розничной торговли, на массовых мероприятиях и т.п.). Как следует из рис. 5, 6, в таких местах влияние ЭМП АС на совокупную интенсивность ЭМФ существенно возрастает, и может оказаться преобладающим.

Из данных рис. 5, 6 следует, что в пешеходных зонах, для которых средняя ЭМН на территорию составляет  $(1...4) \cdot 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup>, при принятых критериях защиты населения (ПДУ  $0,1$  Вт/м<sup>2</sup>,  $p = 10^{-2}$ ) любое локальное превышение  $D_L$  средней ЭМН на территорию, создаваемой АС (т.е. любое скопление людей), представляет опасность, поскольку при этом суммарный уровень ЭМФ оказывается соизмеримым с ПДУ либо превышающим его.

### Заключение

Полученные оценки, иллюстрируемые кривыми на рис. 1–6, вполне соответствуют реальным уровням вынужденных экологических рисков, связанных с массовым использованием сотовой связи на густонаселенных территориях. В частности, эти оценки хорошо согласуются с экспериментальными результатами [14], определяющими суммарную интенсивность ЭМФ, образуемого системами сотовой связи на городской территории:

- на рис. 1 при  $L_{TMS} = 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup> (этот уровень ЭМН в целом согласуется с известными данными [8, 12] для городской территории ( $\rho_{MS} = (1-2) \cdot 10^{-3}$  АС/м<sup>2</sup>,  $m_1(P_{eMS}) = 0,05-0,1$  Вт) и  $\Delta_{eBM} = 20$  дБ) для принятой в [13] доверительной вероятности  $p = 0,01$  точка на кривой 1 соответствует суммарной интенсивности ЭМФ  $P_{\Sigma BG} = 0,0244$  Вт/м<sup>2</sup>; горизонтальная прямая интенсивности ЭМФ, создаваемого БС, соответствует  $P_{\Sigma BS} = 0,0219$  Вт/м<sup>2</sup>;

- на рис. 2 для  $p = 0,01$  точка кривой 2, полученной при  $L_{TMS} = 10^{-5}$  Вт/м<sup>2</sup> (этот уровень ЭМН также в целом согласуется с известными данными [8, 12] ( $\rho_{MS} = (1-2) \cdot 10^{-4}$  АС/м<sup>2</sup>,  $m_1(P_{eMS}) = 0,05-0,1$  Вт) и  $\Delta_{eBM} = 20$  дБ), соответствует суммарной интенсивности ЭМФ  $P_{\Sigma BG} = 0,00244$  Вт/м<sup>2</sup> и ее слагаемому, создаваемому ЭМП БС,  $P_{\Sigma BS} = 0,00219$  Вт/м<sup>2</sup>;

- данные [14] о суммарной интенсивности ЭМФ, создаваемого радиоборудованием сотовой связи на городской территории, находятся в интервале  $0,004-0,015$  Вт/м<sup>2</sup>; т.е. внутри интервала  $0,00219-0,0244$  Вт/м<sup>2</sup>, соответствующего приведенным расчетным данным.

Полученные результаты позволяют сформулировать ряд рекомендаций, направленных на повышение уровня электромагнитной безопасности населения. В частности, это касается ограничений (как в добровольном, так и в принудительном порядке) использования сотовой

связи в местах массового скопления народа, поскольку локальные выбросы средней ЭМН на территорию, создаваемой АС в этих местах, могут быть причиной соответствующего недопустимого локального увеличения интенсивности ЭМФ в этих местах; использования в сотовой сети минимально необходимого превышения ЭИИМ БС над ЭИИМ АС, поскольку избыточные уровни ЭИИМ БС оказывают определяющее влияние на совокупный уровень ЭМФ, создаваемого системами сотовой связи на территориях с высокой плотностью населения.

Изложенная методика оценки ЭМФ, создаваемого как стационарным (БС), так и мобильным (АС) радиооборудованием сотовых радиосетей, применима для сотовых радиосетей всех действующих и перспективных стандартов и поколений, и обеспечивает возможность существенного упрощения методики [13], используемой для оценки экологических рисков от использования сотовой связи и беспроводного широкополосного доступа на социально-значимых объектах.

## **ELECTROMAGNETIC BACKGROUND CREATED BY BASE AND MOBILE RADIO STATIONS OF CELLULAR COMMUNICATIONS**

V.I. MORDACHEV

### **Abstract**

The technique of an estimation of the electromagnetic background total intensity created by base and subscriber's radio stations of cellular communications, is offered. This technique is based on an estimation of the electromagnetic loading on territory in busyhours, created by this radio equipment. The technique is applicable for cellular radio networks of all standards and generations and ensures a capability of an estimation of forced ecological risks provided by cellular communications mass usage in places with high population density.

*Keywords:* radioelectronics conditions, electromagnetic capacity, electromagnetic ecology, electromagnetic security.

### **Список литературы**

1. *Мордачев В.И.* // Докл. БГУИР. 2012. № 6 (68). С. 116–123.
2. *Mordachev V.* // Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Wireless Communications & Mobile Computing Conference IWCMC 2013, Cagliari, Sardinia, Italy, July 1–5 2013. P. 590–595.
3. *Мордачев В.И.* // Докл. БГУИР. 2012. № 7 (69). С. 25–33.
4. *Мордачев В.И.* // Докл. БГУИР. 2012. № 8 (70). С. 23–31.
5. СанПиН 2.2.4/2.1.8.9-36-2002. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).
6. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю).
7. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи.
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, Rec. ITU-R P.1411-8.
9. ETSI EN 300 910, V8.5.1 (2001-11). Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+). Radio Transmission and Reception (GSM 05.05 version 8.5.1 Release 1999).
10. *Prasad R., Mohr W., Konhauser W.* Third generation mobile mobile communication systems. Artech House, 2000.
11. Methodology for the calculation of IMT-2000 terrestrial spectrum requirements. Rec. ITU-R M.1390.
12. *Мордачев В.И.* Системная экология сотовой радиосвязи. Минск, 2009.
13. Оценка риска для здоровья населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых базовыми станциями сотовой подвижной электросвязи и широкополосного беспроводного доступа. Инструкция по применению. Минск, 2010.
14. *Ozdemir A.R., Alkan M., Gulsen M.* // IEEE EMC Magazine. 2014. № 3. P. 43–48.