

УДК 621.396.218:614.89.086.5

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ НАГРУЗКА НА ТЕРРИТОРИЮ, СОЗДАВАЕМАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ИЗЛУЧЕНИЯМИ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

В.И. МОРДАЧЕВ

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

Поступила в редакцию 10 августа 2012

Предложена интегральная системная характеристика электромагнитной экологии и электромагнитной безопасности радиоэлектронной обстановки на местности – электромагнитная нагрузка на территорию как суммарная эквивалентная мощность электромагнитных излучений базовых станций, приходящаяся на единицу площади рассматриваемой территории. Получены соотношения, определяющие количественную связь этой характеристики с суммарной интенсивностью электромагнитного фона, образуемого базовыми станциями у земной поверхности, а также с вероятностью попадания произвольно выбранного места строительства в зону ограничения застройки ближайшей базовой станции. Приведены соотношения, характеризующие ограничения на предельно допустимые параметры радиоэлектронной обстановки, создаваемой базовыми станциями, при действующих ограничениях на предельно допустимые уровни электромагнитного поля для населения.

Ключевые слова: сотовая связь, электромагнитная нагрузка, электромагнитный фон, электромагнитная экология, электромагнитная безопасность

Введение

Исследование многих вопросов электромагнитной экологии и электромагнитной безопасности радиосистем информационного обслуживания общества связано с анализом электромагнитной нагрузки как интегральной характеристики электромагнитного загрязнения окружающей среды. Тем не менее, в настоящее время общепринятое определение термина «электромагнитная нагрузка» (ЭМН) отсутствует. Как правило, понятия, описываемые этим термином, могут быть отнесены к одной из двух групп: «ЭМН на организм человека» и «ЭМН на население (производственный персонал)».

Термин «ЭМН на организм человека» в различных источниках применяется для определения следующих величин.

а. Суммарной интенсивности Π_{Σ} электромагнитных полей (ЭМП), воздействующих на организм человека, определяемой в виде скалярной суммы значений плотности потока мощности Π_i ЭМП от каждого из N источников электромагнитного излучения (ЭМИ):

$$\Pi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \Pi_i, \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

б. Суммарной энергетической экспозиции W_E воздействия ЭМП на человеческий организм как произведения суммарной интенсивности Π_{Σ} ЭМП, воздействующего на организм человека, на продолжительность T этого воздействия во времени:

$$W_E = \Pi_{\Sigma} \cdot T, \text{ Вт} \cdot \text{с/м}^2. \quad (2)$$

в. Относительной суммарной интенсивности ЭМП, воздействующих на организм человека, от $M+N$ источников ЭМИ, как суммы

$$X = \sum_{m=1}^M \left(\frac{E_m}{E_{MPLm}} \right)^2 + \sum_{n=1}^N \frac{\Pi_n}{\Pi_{MPLn}}, \quad (3)$$

где E_{MPLm} , Π_{MPLn} – принятые предельно допустимые уровни (ПДУ) ЭМП, выражаемые либо в единицах напряженности ЭМП [В/м] (для группы из M источников ЭМИ, для которых используются значения напряженности их ЭМП E_m , $m = \{1, \dots, M\}$), либо в единицах плотности потока мощности [Вт/м²] (для группы из N источников ЭМИ, для которых используются значения плотности потока мощности их ЭМП Π_n , $n = \{1, \dots, N\}$) в зависимости от диапазона частот, вида радиослужбы (радиовещательная, радиолокационная, фиксированная, подвижная и т.п.), вида модуляции и режима электромагнитного излучения (непрерывное, импульсное, импульсное узконаправленное с круговым сканированием и т.п.).

Термин «ЭМН на население (производственный персонал)» в различных источниках применяется для определения следующих величин:

г. Множества (матрицы) значений суммарной интенсивности ЭМП (1) от совокупности источников ЭМИ, расположенных на местности (в пространстве), образующего карту суммарной интенсивности ЭМП на местности на определенной высоте (над земной поверхностью, над уровнем моря и т.п.), либо карту суммарной интенсивности ЭМП в плоском сечении некоторой области пространства (зоны скопления людей, отдельного помещения, зоны ближней навигации и посадки самолетов, и т.п.).

д. Множества (матрицы) значений энергетической экспозиции (2) воздействия ЭМП на человеческий организм от совокупности источников ЭМИ, расположенных на заданной территории, образующего карту значений энергетической экспозиции воздействия ЭМП на человеческий организм на территории производственного помещения, промышленной зоны, населенного пункта и т.п.

е. Множества (матрицы) значений относительной суммарной интенсивности (3) ЭМП, воздействующих на организм человека, от совокупности источников ЭМИ, формирующих радиоэлектронную обстановку (РЭО) на определенной территории, образующего карту значений относительной суммарной интенсивности ЭМП на этой территории.

Приведенные выше и подобные им варианты определения ЭМН, безусловно, имеют право на существование. Однако следует отметить, что:

– для обозначения каждого из приведенных выше вариантов определения ЭМН в действующих нормативно-правовых актах, в научно-технической и учебной литературе, как правило, используется другой термин конкретного физического содержания, такой, как «суммарная интенсивность ЭМП», «энергетическая экспозиция», «относительная суммарная интенсивность ЭМП», «рельеф ЭМП» и т.п.;

– очевидно, что все перечисленные величины являются характеристиками электромагнитной обстановки (ЭМО), т.е. ансамбля ЭМП в отдельной точке пространства (варианты а, б, в) либо на определенной территории (варианты г, д, е). Они лишь косвенно характеризуют свойства первопричины образования ЭМО – свойства РЭО на рассматриваемой местности (энергетические и временные характеристики ЭМИ множества радиоэлектронных средств (РЭС) и других источников ЭМИ, размещенных в рассматриваемой области пространства).

Последнее может считаться недостатком определения ЭМН «по полю», поскольку именно энергетические и временные характеристики источников ЭМИ, образующих РЭО в рассматриваемой области пространства представляют собой исходную информацию, содержащуюся в соответствующих базах данных, используемых для решения задач управления использованием радиочастотного спектра. И именно эта исходная информация о технических характеристиках, режимах функционирования и параметрах размещения в рассматриваемой области пространства совокупности технических средств, являющихся причиной возникновения ЭМН, в сочетании с информацией о характеристиках среды распространения радиоволн (РРВ) в рассматриваемой области пространства (на рассматриваемой территории) непосредственно используется:

– для управления ЭМН на отдельных участках территории путем изменения мощности ЭМИ и временных характеристик функционирования РЭС и других источников ЭМИ, размещенных рассматриваемой области пространства;

– для математического моделирования и оценок энергетических характеристик (1), (2), (3) ЭМО в отдельных точках пространства либо на определенной территории.

В этой связи, по крайней мере при описании влияния современных систем радиотелекоммуникаций на электромагнитную безопасность населения и электромагнитную экологию населенных пунктов, по мнению автора, требуется дополнительное рассмотрение ЭМН на территорию «по мощности ЭМИ» в форме удельной суммарной мощности ЭМИ РЭС, приходящейся на единицу площади этой территории. Количественная связь характеристик ЭМН на территорию и ЭМН на население будет установлена ниже.

ЭМН на территорию L_{TBS} от ЭМИ БС сотовой связи, имеющих одинаковые эквивалентные изотропно излучаемые мощности (э.и.и.м.) P_e при одинаковых площадях S_S сайтов (при регулярной пространственной топологии сети), либо одинаковые э.и.и.м. P_e при постоянной средней территориальной плотности ρ БС (в общем случае нерегулярной пространственной топологии сети, в т.ч. при случайном либо близком к случайному территориальном размещении БС). может быть определена следующим образом.

Для регулярной пространственной топологии сети:

$$L_{TBS} = P_e / S_S; \quad (4)$$

для нерегулярной пространственной топологии сети:

$$L_{TBS} = P_e \rho. \quad (5)$$

Цель данной работы – установление связи характеристик (4), (5) ЭМН на территорию от ЭМИ БС сотовой связи с характеристиками ЭМО (1)–(3), используемыми для описания ЭМН на организм человека, а также с возможными ограничениями на городскую застройку в зоне обслуживания сети сотовой радиосвязи.

Исходные модели и соотношения

Известно, что в РРВ от БС, антенны которых установлены на определенной высоте H_{BS} над земной поверхностью, к точке наблюдения вблизи земной поверхности на высоте H_{OP} , соответствующей условной верхней границе области возможного расположения людей, а также положению абонентских станций в активном состоянии, имеется следующая важная закономерность [1]:

– на небольшом удалении R от БС условия РРВ соответствуют условиям РРВ в свободном пространстве (напряженность ЭМП БС убывает обратно пропорционально расстоянию до БС, плотность потока мощности P ЭМП БС убывает обратно пропорционально квадрату расстояния R до БС);

– начиная с некоторой дистанции R_{BP} (точки «breakpoint» на оси абсцисс зависимости напряженности ЭМП от расстояния до БС) условия РРВ меняются: напряженность ЭМП БС начинает убывать обратно пропорционально квадрату расстояния R до БС (плотность потока мощности P ЭМП БС убывает обратно пропорционально четвертой степени расстояния до БС), что обусловлено многолучевым РРВ;

– расстояние R_{BP} между БС и МС, на котором происходит данное изменение условий РРВ, зависит от длины волны λ ЭМИ БС, высоты подвеса ее антенн и высоты точки наблюдения над земной поверхностью и определяется следующим известным соотношением:

$$R_{BP} = 4H_{BS}H_{OP}/\lambda. \quad (6)$$

Ниже в табл. 1 приведены расчетные данные о величине R_{BP} для БС сотовой связи GSM в различных полосах частот ($\lambda=0,16$ м для GSM-1800, $\lambda=0,32$ м для GSM-900) и для различных высот точки наблюдения над поверхностью ($H_{OP} = 2$ м и $H_{OP} = 1$ м).

Таблица 1. Радиус RBP -окрестности точки наблюдения для БС GSM-900 и GSM-1800

| HBS, м | RBP, км | | | |
|--------|--|--|--|--|
| | $H_{OP} = 2 \text{ м}, \lambda = 0,16 \text{ м}$ | $H_{OP} = 2 \text{ м}, \lambda = 0,32 \text{ м}$ | $H_{OP} = 1 \text{ м}, \lambda = 0,16 \text{ м}$ | $H_{OP} = 1 \text{ м}, \lambda = 0,32 \text{ м}$ |
| 20 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,25 |
| 40 | 2,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 |
| 60 | 3,0 | 1,5 | 1,5 | 0,75 |
| 80 | 4,0 | 2,0 | 2,0 | 1,0 |

Следует принять во внимание, что для большинства практических случаев $RBP \geq 0,5$ км поскольку:

- 1) как правило, и в сельской местности, и в городской застройке $H_{BS} \geq (20 \dots 30)$ м;
- 2) в городской застройке, где высоты подвеса антенн БС редко превышают высоту многоэтажной городской застройки, преобладающим является использование частотных каналов GSM-1800 $\lambda = 0,16$ м) в силу меньшего затухания радиоволн в стенах зданий вблизи БС и лучшего экранирования радиоволн элементами городской застройки и растительностью при их распространении на территории соседних сайтов (последнее позволяет снизить уровни внутри-сетевых помех);
- 3) число каналов поддиапазона GSM-1800 $\lambda = 0,16$ м) в 3 раза больше числа каналов GSM-900 $\lambda = 0,32$ м) [2],
- 4) основной интерес представляет случай $H_{OP} = 2$ м, поскольку в соответствии с [3] на этой высоте над поверхностью анализируется наличие санитарно-защитной зоны БС, и для этого значения H_{OP} радиус R_{BP} максимален).

Это обстоятельство в целом находится в соответствии с эмпирической моделью РРВ «Окамура-Хата», имеющей область определения $1 \text{ км} < R < 20 \text{ км}$, и в этой области в зависимости от характера местности (сельская местность, пригород, город) дающей убывание плотности потока мощности П ЭМП БС обратно пропорционально расстоянию до БС в степени $3,2 \dots 4,0$ [1,4].

Приведенные обстоятельства позволяют ограничиться влиянием на суммарную интенсивность ЭМП в точке на высоте H_{OP} над земной поверхностью электромагнитных излучений БС, располагаемых в круговой окрестности радиуса R_{BP} вокруг данной точки, где условия РРВ соответствуют РРВ в свободном пространстве (свободному РРВ), поскольку [4,5]:

– для БС за пределами данной области затухание РРВ при их распространении к рассматриваемой точке резко возрастает, и их вкладом в суммарную интенсивность ЭМП в данной точке можно пренебречь;

– при территориальном размещении источников ЭМП основной вклад в суммарную интенсивность ЭМП в точке наблюдения на земной поверхности вносят ближайшие источники ЭМП, а суммарный вклад остальных источников ЭМП относительно невелик.

Таким образом, при дальнейшем анализе используем следующую общепринятую модель условий РРВ в свободном пространстве между БС и точкой наблюдения на высоте НОР над земной поверхностью:

$$\Pi = P_e / (4\pi R^2), \quad R \leq R_{BP}, \quad (7)$$

где P_e – э.и.и.м. БС, Вт, Π – плотность потока мощности ЭМП БС на удаленности R , Вт/м².

Средняя суммарная интенсивность ЭМП БС в зоне свободного РРВ

При случайном размещении БС на одинаковой высоте HBS с постоянной территориальной плотностью ρ , ед./м², в круговой области радиуса RBP вокруг точки наблюдения плотность распределения вероятностей плотности потока мощности ЭМП БС будет иметь вид гиперболического распределения, степень которого инвариантна к высоте подвеса антенн БС [4]:

$$w(\Pi) = \frac{\Pi_{\min} \Pi_{\max}}{(\Pi_{\max} - \Pi_{\min}) \Pi^2} \approx \frac{\Pi_{\min}}{\Pi^2}, \quad \Pi_{\min} \leq \Pi \leq \Pi_{\max}, \quad \Pi_{\max} \gg \Pi_{\min}; \quad (8)$$

$$\Pi_{\max} = \frac{P_e}{4\pi H_{BS}^2}, \quad \Pi_{\min} = \frac{P_e}{4\pi R_{BP}^2} = \frac{P_e \lambda^2}{64\pi H_{BS}^2 H_{OP}^2}; \quad (9)$$

математическое ожидание величины Π определяется следующим соотношением:

$$m_1(\Pi) = (\Pi_{\min} \Pi_{\max} / (\Pi_{\max} - \Pi_{\min})) \ln(\Pi_{\max} / \Pi_{\min}) \approx \Pi_{\min} \ln(\Pi_{\max} / \Pi_{\min}). \quad (10)$$

Средняя суммарная интенсивность ЭМП у земной поверхности при случайном размещении БС в зоне свободного РРВ радиуса R_{BP} может быть определена очевидным образом как произведение среднего числа N_{av} БС в этой зоне на математическое ожидание (9) интенсивности Π ЭМП отдельной БС:

$$\Pi_{\Sigma BS} = N_{av} m_1(\Pi). \quad (11)$$

Размещение БС относительно точки наблюдения и конкретное число БС в зоне свободного РРВ радиуса R_{BP} являются случайными в силу следующих причин:

– при классической регулярной гексагональной пространственной структуре сети сотовой связи – в силу случайного выбора положения точки наблюдения относительно БС, что делает случайным минимальное расстояние между точкой наблюдения и ближайшей БС, а также делает случайным попадание в зону свободного РРВ БС, располагаемых вблизи границы этой зоны;

– при случайном размещении БС по территории – случайностью взаимного размещения БС и точки наблюдения. В обоих случаях постоянство средней территориальной плотности ρ БС позволяет определить среднее число N_{AV} БС как произведение

$$N_{AV} = \rho \pi R_{BP}^2. \quad (12)$$

Таким образом, модели (8)–(10) адекватны и при равномерном случайном, и при равномерном регулярном размещении БС, если в последнем случае точка наблюдения выбирается случайно относительно размещения БС.

При классической регулярной гексагональной пространственной структуре сети сотовой связи площадь сайта связана с пространственной плотностью ρ БС очевидным соотношением:

$$S_S = 1/\rho. \quad (13)$$

Площадь зоны свободного РРВ, имеющей радиус (7), также определится очевидным образом:

$$S_{\max} = \pi R_{BP}^2 = 16\pi H_{BS}^2 H_{OP}^2 / \lambda^2. \quad (14)$$

Отсюда среднее число N_{AV} БС в зоне свободного РРВ

$$N_{AV} = S_{\max} / S_S = 16\rho \pi H_{BS}^2 H_{OP}^2 / \lambda^2. \quad (15)$$

где величины H_{BS} , H_{OP} , λ выражены в метрах, ρ – в ед./м².

Пример 1.

$H_{BS} = 40$ м, $H_{OP} = 2$ м, $\lambda = 0,16$ м (GSM-1800), $\rho = 5 \cdot 10^{-6}$ БС/м² (5 БС/км²).

В этом случае $R_{BP} = 2$ км, $S_{\max} = 12,6$ км², $N_{AV} = 62,8$ ед.

Определим соотношение (11) с учетом подстановки (9) в (10):

$$\Pi_{\Sigma BS} = (\rho P_e / 2) \ln(4H_{OP} / \lambda), \quad \rho P_e = L_{TBS}. \quad (16)$$

Это соотношение устанавливает непосредственную зависимость между ЭМН на организм человека и ЭМН на окружающую территорию. Важные обстоятельства, вытекающие из (17), состоят в том, что суммарная интенсивность ЭМП БС, располагаемых в круговой зоне свободного РРВ вокруг точки наблюдения, характеризующая ЭМН на организм человека в этой точке:

- практически не зависит от высот подвеса антенн БС,
- прямо определяется суммарной э.и.и.м. БС $\cdot \rho P_e = L_{TBS}$, приходящейся на единицу площади указанной зоны, т.е. электромагнитной нагрузкой на единицу площади в этой зоне в определении (5).

Предельно допустимые параметры ЭМН на территорию от БС сотовой связи

Если суммарную интенсивность ЭМП $\Pi_{\Sigma BS}$ БС, располагаемых в круговой зоне свободного РРВ вокруг точки наблюдения, принять равной предельно допустимому уровню Π_{MPL} интенсивности ЭМП, то можно определить значения следующих параметров сети сотовой связи, предельно допустимые с точки зрения электромагнитной безопасности ее стационарного радиооборудования:

- предельно допустимую территориальную плотность ρ_{max} БС с э.и.и.м. P_e :

$$\rho_{max} = 2\Pi_{MPL} / (P_e \ln(4H_{OP}/\lambda)); \quad (17)$$

- предельно допустимую э.и.и.м. БС, располагаемых с плотностью ρ :

$$P_{e,max} = 2\Pi_{MPL} / (\rho \ln(4H_{OP}/\lambda)). \quad (18)$$

Очевидно, что оценка (18) является оптимистической (завышенной), поскольку, как правило, при размещении БС в городской застройке должно выполняться условие отсутствия санитарно-защитной зоны, т.е. на высоте $H_{OP} \leq 2$ м над поверхностью суммарный уровень ЭМП должен быть не выше предельно допустимого уровня ПМРЛ, что частично обеспечивается диаграммой направленности антенн БС в вертикальной плоскости. Ниже рассмотрим примеры оценки параметров (17), (18) для типовых характеристик сетей GSM на территории Минска ($P_e \approx 2$ кВт, $\rho \approx 5$ БС/км²) по состоянию на 2012 г.

Пример 2.

$H_{OP} = 2$ м, $\lambda = 0,16$ м (GSM-1800), $P_e = 2000$ Вт, $\Pi_{MPL} = 0,1$ Вт/м². В этом случае $\rho_{max} = (4 \cdot 0,1) / 2000 \cdot 6 \approx 33 \cdot 10^{-6}$ БС/м² ≈ 33 БС/км²

Пример 3.

$H_{OP} = 2$ м, $\lambda = 0,16$ м (GSM-1800), $\rho = 5 \cdot 10^{-6}$ БС/м² (5 БС/км²), $\Pi_{MPL} = 0,1$ Вт/м².

В этом случае $P_{e,max} = (4 \cdot 0,1) / 5 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \approx 13300$ Вт $\approx 13,3$ кВт.

В рассмотренных выше примерах использовано значение ПМРЛ = 0,1 Вт/м² (10 мкВт/см²), с середины 80-х принято в СССР и в настоящее время используемое на территории многих государств, в частности, в Российской Федерации и в Республике Беларусь. Результаты приведенных выше оценок в примерах 2,3 для ряда других значений Π_{MPL} из числа рекомендуемых к рассмотрению в [4] приведены ниже в табл. 2.

Таблица 2. Критерии вынужденного экологического риска в полосах частот сотовой связи

| Значение Π_{MPL} , мкВт/см ² | Область применения значения Π_{MPL} | ρ_{max} , БС/км ² , при $P_e = 2$ кВт | $P_{e,max}$, кВт, при $\rho = 5$ БС/км ² |
|---|---|---|--|
| 0,1 | Рекомендовано [6] в качестве предварительного профилактического значения ПДУ для «суммарных общих электромагнитных облучений от всего высокочастотного оборудования с очень низкой пульсирующей модуляцией» | 0,33 | 0,133 |
| 1,0 | Рекомендовано [7] в качестве условной верхней границы интенсивности безопасного для населения электромагнитного фона. Соответствует ранее принятому в СССР ПДУ ЭМП для населения [8] | 3,3 | 1,33 |
| 2,0 | ПДУ для мест круглосуточного пребывания людей, принятый в Париже для GSM-900 [6] и при проектировании сотовой связи в Москве [9] | 6,6 | 2,66 |
| 2,5 | ПДУ для населения, принятый в Украине [10] | 8,3 | 3,33 |

Следует отметить, что типовые параметры сетей GSM на территории Минска по состоянию на 2012 г. не выходят за рамки дозволенного даже для значений ПМРЛ 2,0 и 2,5 мкВт/см². В то же время эти типовые параметры сетей GSM, по-видимому, в 1,5–2 раза превышают допустимые уровни, исходя из нормативов [7], ранее принятых на территории СССР.

Вероятность попадания в зону ограничения застройки

В условиях современного города, характеризующихся интенсивным коммерческим и долевым строительством высотных офисных и жилых зданий по всей территории городской застройки с высотами, соизмеримыми с высотами подвеса БС, а также тенденцией к уменьшению высот подвеса антенн БС в целях использования экранирующих свойств городской застройки для уменьшения уровней внутрисетевых помех, интерес представляет оценка вероятности того, что произвольно выбранное место строительства попадает в зону ограничения застройки (ЗОЗ) ближайшей БС. Эта оценка может быть выполнена с использованием моделей и соотношений, приведенных выше.

При свободном РРВ радиус R_{RA} и площадь S_{RA} зоны ограничения застройки (*restricted area*) вокруг БС с круговым излучением и э.и.и.м. P_e определяется очевидным соотношением:

$$R_{RA} = \sqrt{P_e / (4\pi\Gamma_{MPL})}, \quad S_{RA} = \pi R_{RA}^2 = P_e / (4\Gamma_{MPL}).$$

Следует ожидать, что:

- территории ЗОЗ отдельных БС не пересекаются в связи с тенденцией регуляризации структуры сети;

- площадь ЗОЗ значительно (на порядок и более) меньше площади зоны обслуживания БС (площади сайта).

Поэтому вероятность V_{RA} того, что случайно выбранная точка территории попадает в ЗОЗ ближайшей БС, может быть определена как относительная часть площади обслуживания сети сотовой связи, совпадающей с площадью ЗОЗ БС этой сети:

$$V_{RA} \approx \rho S_{RA} = \rho P_e / (4\Gamma_{MPL}) = L_{TBS} / (4\Gamma_{MPL}). \quad (19)$$

Таким образом, эта вероятность, достаточно полно характеризующая потенциальные экологические риски в современной городской застройке, определяется отношением суммарной ЭМН на территорию городской застройки от БС сотовой связи и принятого значения ПДУ ЭМП.

Заключение

В данной работе рассмотрено понятие электромагнитной нагрузки на территорию как интегральной системной характеристики РЭО в рассматриваемой области пространства, и даны оценки влияния данной характеристики, формируемой совокупностью ЭМИ БС сотовой связи, на характеристики ЭМО вблизи земной поверхности. В рамках ограничений, присущих принятой модели РРВ с использованием ограничения (6) на область учета БС-источников ЭМП и применимости модели РРВ в свободном пространстве, а также в рамках гипотезы о постоянстве э.и.и.м. БС в направлении на точку наблюдения, получены следующие результаты.

1. Установлены функциональные связи ЭМН на территорию, создаваемой ЭМИ БС сотовой связи, со следующими характеристиками электромагнитной безопасности и экологии радиооборудования инфраструктуры сотовой связи:

- в форме (16) с ЭМН на организм человека, характеризуемой суммарной интенсивностью (1) ЭМП БС в точке наблюдения у земной поверхности;

- в форме (19) с вероятностью попадания произвольно выбранного места строительства в зону ограничения застройки ближайшей БС.

2. Определены связи (17), (18) предельно допустимых параметров РЭО, определяющих ЭМН на территорию, создаваемую БС сотовой связи (максимальных значений э.и.и.м. и средней территориальной плотности БС), с действующими санитарно-гигиеническими ограничениями на предельно допустимый суммарный уровень ЭМП для населения.

Соотношения (16)–(19) могут быть очевидным образом скорректированы для других форм определения ЭМН на организм человека – в форме суммарной энергетической экспозиции ЭМП (2) и в форме относительной суммарной интенсивности ЭМП (3) в точке наблюдения, а также развиты для более сложных пространственных структур сотовой связи, в частности, покрытия территории несколькими сетями сотовой связи частично с совместным размещением БС на отдельных зданиях. Таким образом, соотношения (16)–(19) позволяют разработать практическую методику учета влияния ЭМН на территорию от БС сотовой связи на электромагнитную экологию и электромагнитную безопасность при выполнении процедур планирования и управления использованием радиочастотного спектра, а также методику экспресс-анализа электромагнитной безопасности в заданной РЭО на рассматриваемой территории.

Следует подчеркнуть, что полученные выше соотношения и оценки получены с использованием (10), т.е. представляют собой оценки экологических рисков «в среднем». Поэтому дальнейший интерес представляет развитие данного подхода с учетом случайности ряда компонент ЭМО в точке наблюдения и с оценкой вероятности превышения ПДУ ЭМП совокупной интенсивностью ЭМП, включая уровни ЭМП сотовых телефонов, *UMTS/LTE* модемов и РЭС других радиослужб, в том числе РЭС с остронаправленным излучением.

TERRESTRIAL ELECTROMAGNETIC LOADING CREATED BY ELECTROMAGNETIC RADIATIONS OF CELLULAR BASE STATIONS

V.I. MORDACHEV

Abstract

The integrated system characteristic of electromagnetic safety of terrestrial radio electronic environment – terrestrial electromagnetic filling as the total equivalent power of electromagnetic radiations of the radio equipment, falling to unit of the area of considered territory is offered. The equations defining quantitative relationship of terrestrial electromagnetic filling formed by cellular base stations with total intensity of an electromagnetic background, formed by this stations at a terrestrial surface, and also with probability of hitting of building location into the restriction area of the nearest base station are received. The equations describing the restrictions on maximum permissible parameters of radio electronic environment, created by base stations at valid restrictions on maximum permissible levels of electromagnetic fields for the population are resulted.

Список литературы

1. *Siwiak K.* Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications. Boston: Artech House, 1998.
2. 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).
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.9-36-2002. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ) (Республика Беларусь).
4. *Мордачев В.И.* Системная экология сотовой радиосвязи. Минск: Изд. центр БГУ. 2009.
5. *Mordachev V, Loyka S.* // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2009, Vol. 27, №7. P.1120–1131.
6. Электромагнитные поля и здоровье человека / Под ред. Ю.Г. Григорьева. М., 2002.
7. *Попов В.* Электромагнитное излучение мобильных телефонов и человеческий организм. Рига, 1999.
8. Санитарные нормы и правила при работе с источниками электромагнитных полей высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот. №848-70. СССР. 1970.
9. Санитарные правила и нормы защиты населения г. Москвы от электромагнитных полей передающих радиотехнических объектов. М. 1996.
10. Государственные санитарные нормы и правила охраны населения от влияния электромагнитных излучений. Киев. 1996.