

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ОТ СТАНЦИЙ МОБИЛЬНОЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

**В. Д. Воробьев, докт. техн. наук, А. И. Крючков, канд. техн. наук
(НТУУ «КПИ»), О. В. Капитанюк, магистр (ООО «ПРОСТ»)**

Досліджено просторовий розподіл у навколишньому середовищі електромагнітних полів від станцій стільникового зв'язку. Розроблено методичку інструментального контролю і розрахункового прогнозу електромагнітного стану в місцях розміщення радіотехнічних засобів систем стільникового зв'язку.

Spatial distribution of electromagnetic fields from cellular communication stations in the environment is investigated. The technique of the tool control and the calculated prognosis of the electromagnetic condition in places of accommodation of radio engineering means of cellular communication systems are elaborated.

В последние годы развитие сотовой мобильной связи приобретает значительные масштабы. По состоянию на конец 2007 г. в Украине насчитывалось 55,58 миллиона абонентов сотовой связи, что почти на 13 % превышает аналогичный показатель за 2006 г. Совокупная абонентская база всех операторов сотовой связи Украины в 2007 г. увеличилась на 6,38 млн пользователей. Основную долю внесли компании «Астелит» – около 3,3 млн пользователей (59 %), и «Киевстар» – почти 2,1 млн абонентов (9,7 %). Абонентская база второго крупнейшего оператора, компании «Украинская мобильная связь» (МТС-Украина), за 2007 г. увеличилась немногим более чем на 1 тыс. абонентов (табл. 1). Все эти операторы используют разные стандарты сотовой связи: NMTi, GSM, CDMA. Лидерами являются компании «Киевстар», «МТС», «Астелит», «УРС».

Таблица 1. Количество абонентов и подключений в 2007 г.

Оператор	Количество абонентов, чел.	Чистые подключения, чел.	Рост абонентской базы, %
Киевстар	23 604 000	2 093 721	9,73
МТС	20 003 671	1 148	0,01
Астелит	8 623 000	3 273 000	58,97
УРС	2 646 647	770 577	41,07
Велтон. Телеком	115 229	22 157	23,81
ИТС	115 214	55 340	92,43
Интертелеком	105 825	70 825	202,36

Телесистемы Украины	86 800	–	–
Голден Телеком	42 500	–5 900	–12,25
CST-Invest	26 000	14 051	117,59
Украинская волна	9 500	–3 200	–25,20
Укртелеком	8 500	–	–

Таким образом, на территории Украины развернута сеть сотовой связи, построенная на основе разных стандартов, мобильные терминалы которой являются источниками электромагнитного поля (ЭМП) ультравысокочастотного диапазона.

Распространение средств телефонии и значительное увеличение излучаемой мощности базовых станций приводит к потенциальной опасности роста уровня ЭМП в окружающей среде и облучения населения. Поэтому изучение влияния ЭМП от радиотехнических средств сотовой мобильной связи на биологические объекты и здоровье человека является одной из важных медико-биологических и экологических задач.

Анализ литературных источников [1–5] показал, что до настоящего времени комплексные исследования воздействия ЭМП на окружающую среду не проводились. Как правило, в работах изучалась реакция отдельных особей или видов живых организмов на воздействие ЭМП. Известны единичные разрозненные исследования, в которых изложены результаты изучения влияния ЭМП на природные биологические системы организменного и надорганизменного уровней [6, 7], однако работы, посвященные изучению состояния и функционирования экосистем в условиях действия ЭМП в целом, отсутствуют. При этом следует ожидать, что биологическая активность ЭМП относительно экосистем, обладающих различной устойчивостью к действию этого фактора, будет различной.

Отклонения ЭМП от естественного уровня в большую или меньшую сторону являются стрессорными факторами, о чем свидетельствуют известные экспериментальные работы. Так, при полном экранировании ЭМП изменяется скорость размножения некоторых микроорганизмов, наблюдаются нарушения процессов роста клеток и тканей, изменения морфологии и функций органов животных [4, 8]. В условиях повышенного уровня ЭМП отмечалось нарушение ориентации и увеличение двигательной активности различных живых организмов [9, 10]. Приведенные данные свидетельствуют о важной роли ЭМП в процессе жизнедеятельности организмов, и электромагнитное загрязнение среды, вызванное, в частности, работой станций сотовой связи, может нанести им непоправимый ущерб.

В настоящее время не решены такие задачи, как гигиеническое нормирование ЭМП, унифицирование методик определения уровней ЭМП, проведение комплексных исследований по изучению воздействия ЭМП от различных источников на окружающую среду.

Цель настоящей работы – исследование пространственного распределения в окружающей среде электромагнитных полей от станций сотовой связи.

Для реализации указанной цели были поставлены следующие задачи:

разработать методики инструментального контроля и расчетного прогноза электромагнитной обстановки в местах размещения и эксплуатации радиотехнических средств в составе систем сотовой связи;

обосновать закономерности пространственного распределения ЭМП радиочастотного оборудования систем сотовой связи.

Исследовалось распределение ЭМП базовых станций типа RBS-2206 (GSM-900/1800), а также радиорелейной станции типа 23GHz HP Sing. Принцип их действия и основные характеристики схожи: мощность передатчиков базовых станций в пределах 25...60 Вт, количество передатчиков изменяется от 1 до 8; диапазон частот и вид модуляции радиосигнала зависит от типа системы сотовой связи (DCS-1800 – 1790...1880 МГц, GSM-900 – 880...915 МГц, GSM-1800 – 1770...1870 МГц).

Приемно-передающие антенны базовых станций могут быть двух типов: с круговой диаграммой направленности в горизонтальной плоскости типа «Omni» (рис. 1, а) и направленные или секторные (рис. 1, б).

Исходя из технологических условий построения системы сотовой связи, диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости рассчитана таким образом, чтобы основная энергия излучения (больше 90 %) сосредоточивалась в очень узком «луче». Этот луч всегда направлен в сторону от сооружений, на которых находятся антенны базовых станций, и выше прилегающих зданий, что является необходимым условием для нормального

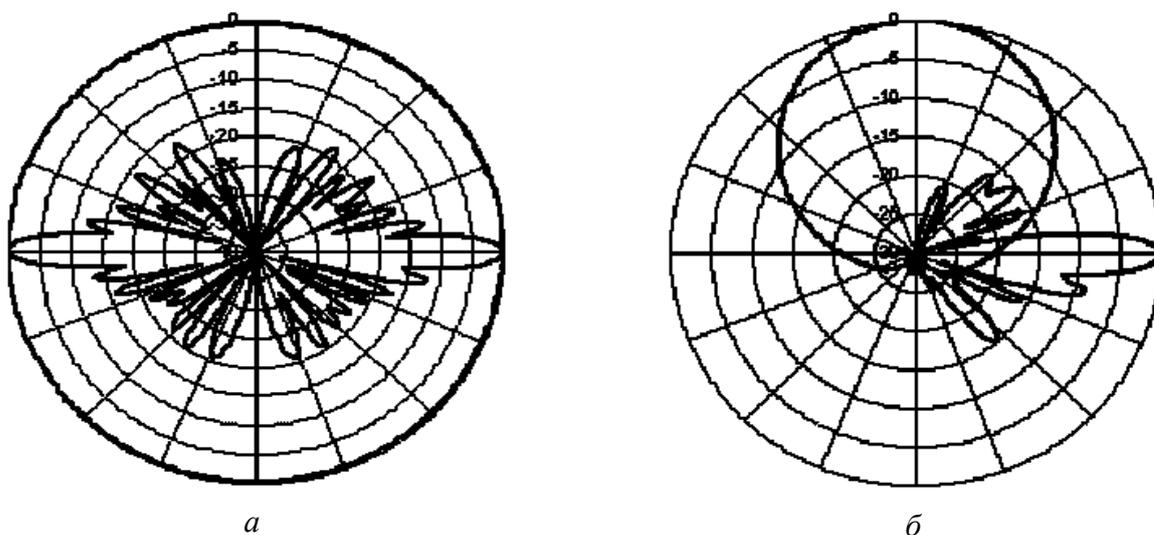


Рис. 1. Диаграммы направленности антенн: а – типа «Omni»; б – секторные

Базовые станции относятся к виду передающих радиотехнических объектов с переменной мощностью излучения. Загруженность станции определяется наличием абонента в зоне ее обслуживания и желанием воспользоваться телефоном для разговора, что, в свою очередь, зависит от времени суток, места размещения станции, дня недели и т.д. В ночные часы загруженность базовых станций минимальна.

Для определения уровня электрической напряженности ЭМП и плотности потока энергии (ППЭ) базовых и радиорелейных станций для одного из объектов г. Киева применен расчетный метод [12].

Уровень электрической напряженности ЭМП рассчитывается по формуле

$$E(R) = \frac{\sqrt{30PG\eta}}{R} F(\Theta) \cdot F(\varphi) K_r \cdot K_z, \quad (1)$$

где P – мощность на входе фидерного тракта, Вт; G – коэффициент усиления изотропного излучения; η – коэффициент затухания в системах антенно-фидерного тракта; $F(\Theta)$ – значение нормированной диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости (определяется на основании диаграммы направленности в вертикальной плоскости соответствующих антенн); $F(\varphi)$ – значение нормированной диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости (определяется на основании диаграммы направленности в горизонтальной плоскости); K_r – коэффициент, учитывающий неравномерность диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости (принято $K_r = 1$); K_z – коэффициент, учитывающий влияние отражающей поверхности в условиях городской застройки (принято $K_z = 1,25$); φ – азимутальный угол в направлении максимального излучения в горизонтальной плоскости, град; $\Theta = \varepsilon_0 + \Delta$ – угол в вертикальной плоскости между направлением максимального излучения и направлением в точке облучения, град (рис. 2, а); ε_0 – угол места максимума излучения, град; $\Delta = \arctg\left(\frac{h_a + \Delta h - H}{r}\right)$ – угол, создаваемый линией горизонта, проведенной через центр излучения и направленной на точку облучения (вниз – со знаком “+”, вверх – со знаком “-”), град; Δh – разность высот расчетной точки и основания антенны, м; h_a – высота фазового центра антенны, м; r – горизонтальная дальность, м; H – высота расчетной точки над уровнем земли, м (рис. 2, б).

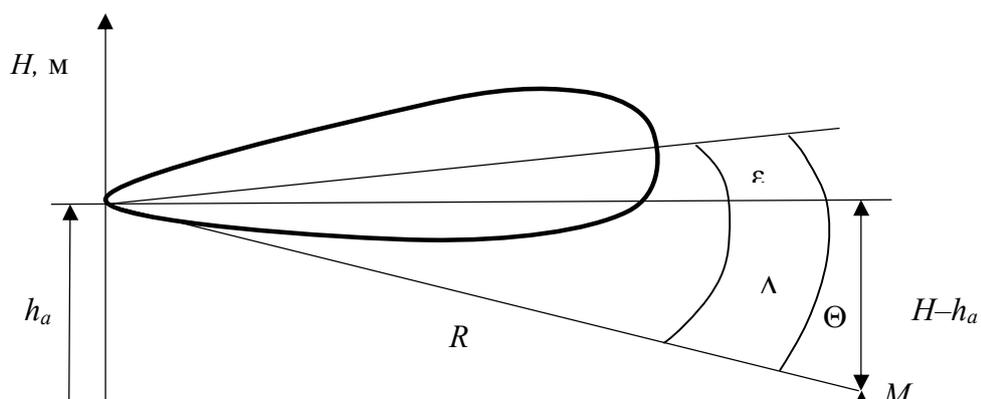
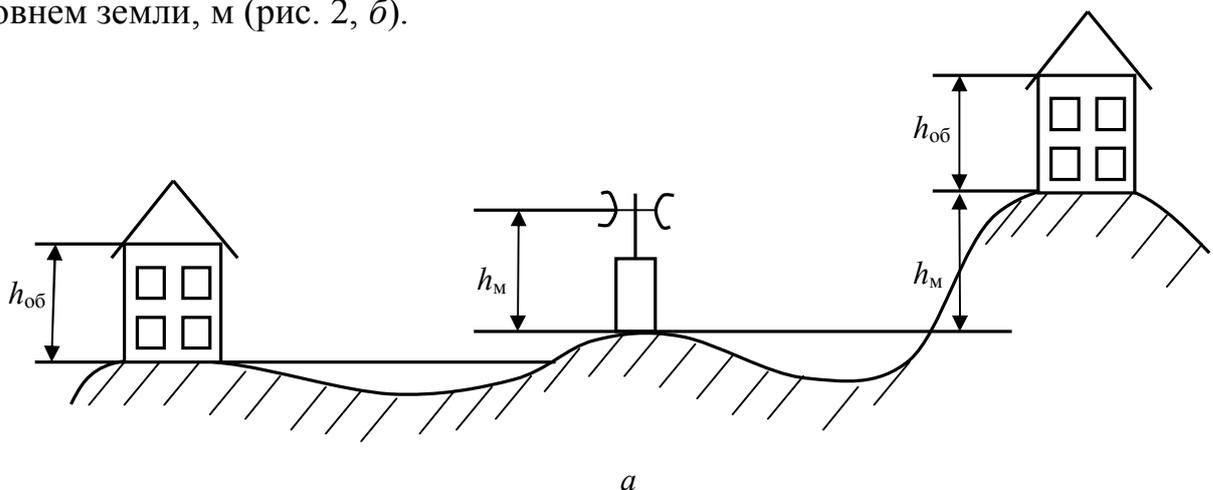


Рис. 2. Определение расчетных углов (α) и разницы высот (β): $h_{об}$ – высота сооружения, м; h_m – расстояние от поверхности земли до фазового центра антенны, м; r_m – расстояние между источником излучения и точкой облучения в горизонтальном направлении, м

Уровень плотности потока энергии определяется по формуле [12]

$$\text{ППЭ}(R) = \text{ППЭ}_0(R) \cdot F^2(\Theta) \cdot F^2(\varphi) \cdot K_3, \quad (2)$$

где $\text{ППЭ}(R)$ – плотность потока энергии в направлении максимального излучения, Вт/м²; $\text{ППЭ}_0(R)$ – исходная плотность потока энергии, Вт/м².

Значение $\text{ППЭ}_0(R)$ определяется из выражения

$$\text{ППЭ}_0(R) = \frac{8P_{ми} \cdot \gamma}{R^2}, \quad (3)$$

где $P_{ми}$ – максимальная излучаемая мощность, Вт; γ – коэффициент усиления антенны (на нормали); R – расстояние между источником излучения и точкой облучения, м:

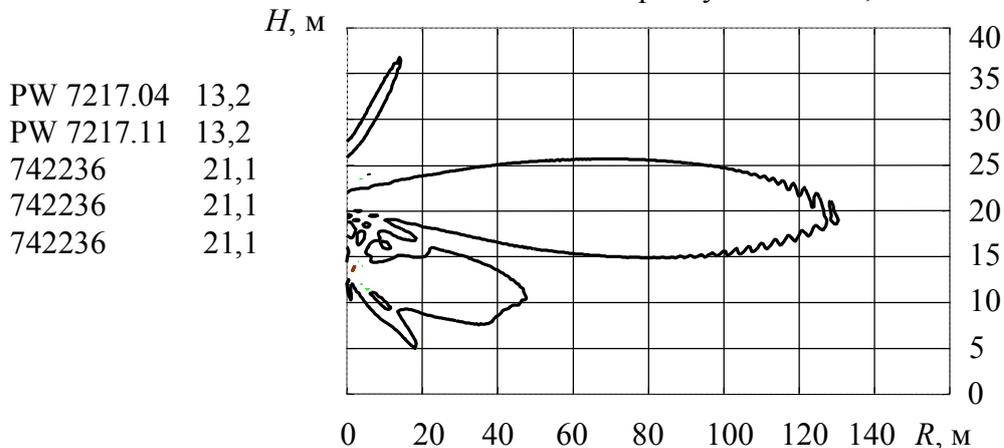
$$R = \sqrt{r^2 + (h_a + \Delta h - H)^2}. \quad (4)$$

По результатам расчета построены диаграммы излучения ЭМП (рис. 3) и графики суммарного уровня воздействия (СУВ) передающих антенн базовых станций (рис. 4).

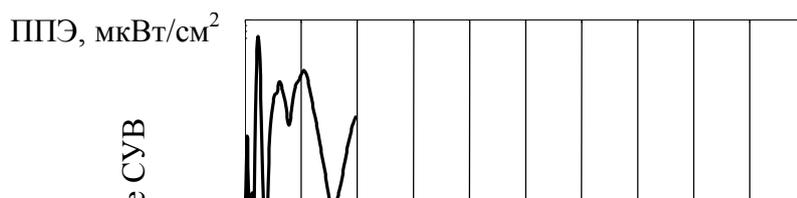
Точка $R = 0$ соответствует фазовому центру антенны PW 7217.04.

Координаты антенны: $X = 0$; $Y = 0$; $H = 13,2$.

Максимальный радиус зоны 130,5 м



a



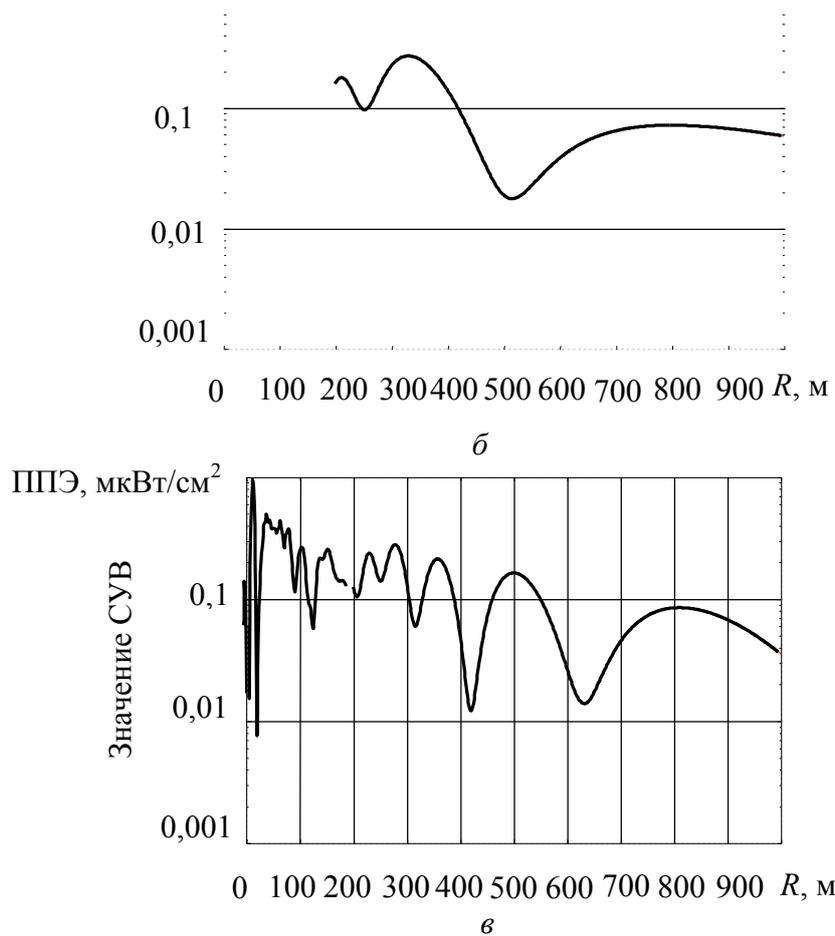
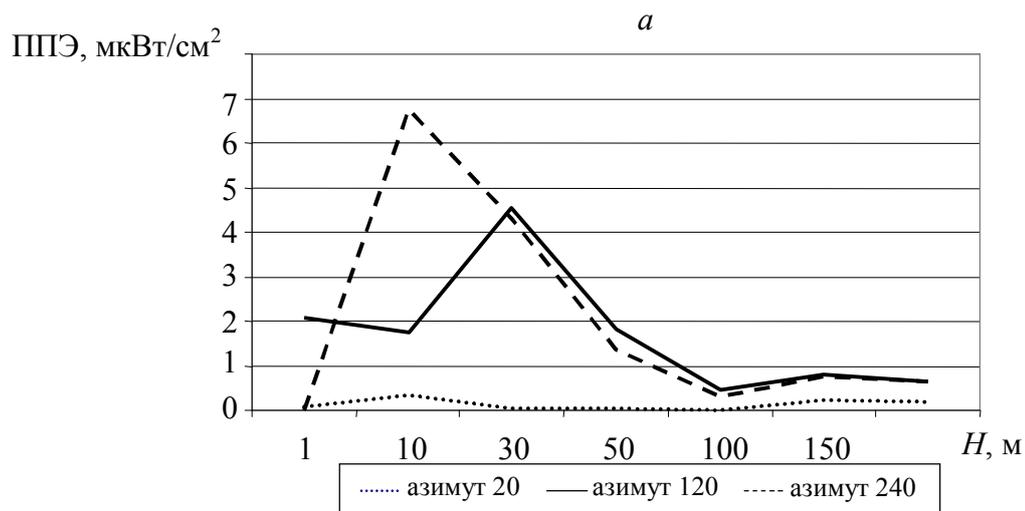
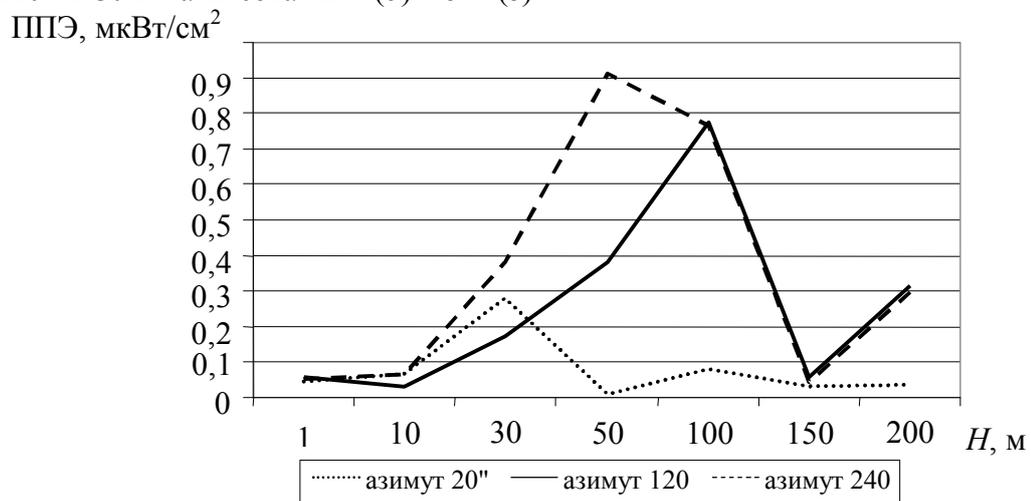
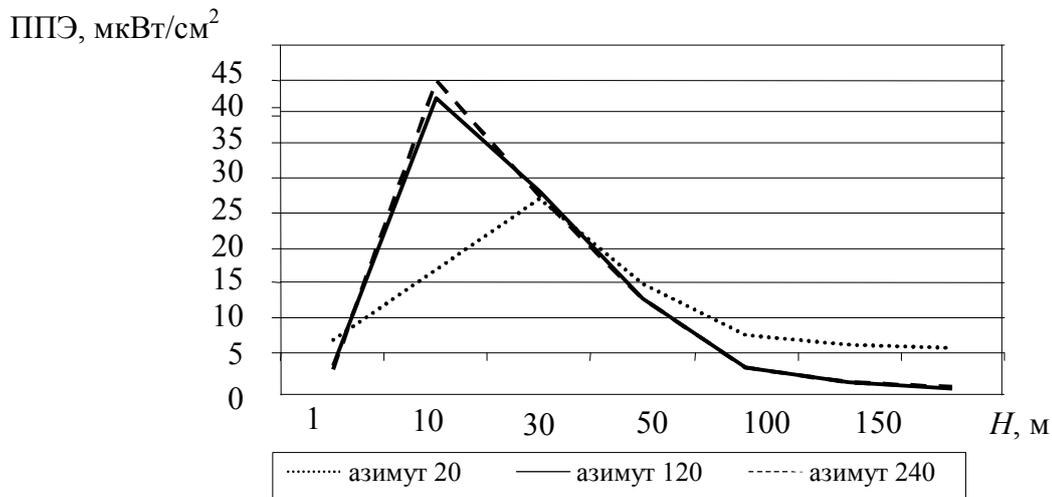


Рис. 3. Вертикальные диаграммы излучения передающих антенн базовых станций для азимутов 120° и СУВ на высотах 2 м (б) и 5 м (в)





в

Рис. 4. Распределение уровня ППЭ антенн базовых и радиорелейных станций стандарта GSM-900/1800 и DCS-1800 по замерам на различной высоте: *a* – 2 м; *b* – 10 м; *в* – 20 м

Для подтверждения расчетов проведены замеры уровня ЭМП на местности. Замеры проводились на высоте 2, 10 и 20 м на расстоянии 1...200 м от антенны (табл. 2).

Таблица 2. Результаты замеров уровня ППЭ поля, создаваемого антеннами базовых и радиорелейных станций стандартов GSM-900/1800 и DCS-1800, мкВт/см²

Азимут, град	20			120			240		
Высота, м									
Расстояние, м	2	10	20	2	10	20	2	10	20
1	0,0431	0,0635	1,7279	0,0586	2,0868	4,0381	0,0545	0,0144	3,5996
10	0,0667	0,3536	11,9602	0,0316	1,7355	42,3849	0,0663	6,7461	44,9866
30	0,2770	0,0534	21,9976	0,1746	4,5133	29,1002	0,3792	4,3193	28,4946
50	0,0109	0,0410	9,9620	0,3816	1,8050	13,6673	0,9127	1,3534	13,7731
100	0,0775	0,0153	2,5930	0,7726	0,4531	3,8864	0,7645	0,2874	3,7913
150	0,0325	0,2425	1,2048	0,0573	0,8041	1,7749	0,0463	0,7687	1,7658
200	0,0345	0,1788	0,5960	0,3129	0,6439	1,0043	0,2979	0,6355	1,0397

Замеры уровня ЭМП проводились с помощью прибора типа ПЗ-19 с антенной АП-ГПЕ-1 (пределы измерения ППЭ 0,32...100 мкВт/см²). Анализ результатов замеров показал (см. табл. 2), что антенны базовых станций стандартов GSM и DCS являются источниками излучения в окружающую среду

электромагнитных полей, уровень плотности потока энергии которых на расстоянии 1...200 м от антенны на высоте 20 м колеблется от 44,99 до 0,60 мкВт/см². При уменьшении высоты до 2 м уровень ППЭ на расстоянии 1...200 м от антенны снижается от 0,91 до 0,03 мкВт/см². Таким образом, зафиксированные уровни ЭМП значительно ниже ПДУ (2,5 мкВт/см²) на высоте 2 м [13]. Однако на высоте более 2 м наблюдается превышение ПДУ. Это свидетельствует о том, что необходимо вводить только зону ограничения застройки (ЗОЗ), а санитарную защитную зону (СЗЗ) можно не вводить.

Были также выполнены замеры для оценки распределения ЭМП от антенны радиорелейной станции типа 23GHz HP Sing. Радиостанция имеет один передатчик, работающий в диапазоне 22850...23250 МГц. Установлено, что ППЭ на расстоянии 1...200 м от антенны на высоте 20 м колеблется от 0,3346 до 0,0890 мкВт/см². При уменьшении высоты расчетной точки значение ППЭ резко уменьшается и на высоте 2 м на расстоянии 200 м от антенны составляет 0,0023 мкВт/см² при нормативном значении 2,5 мкВт/см².

Точки замеров наносились на ситуационный план для дальнейшего анализа. Полученные значения ППЭ были на 10 % меньше расчетных.

Для одного из объектов г. Киева расчетным способом были определены значения критерия безопасности на высоте 2,0 м, радиус зоны фиксированного уровня излучения 2,5 мкВт/см², высота ЗОЗ в направлении максимального излучения антенн (табл. 3). При этом уровень безопасности оценивался коэффициентом [12] с учетом суммарного уровня воздействия ЭМП:

$$K_6 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{E_i}{E_{\text{ПДУ}_i}} + \frac{\text{ППЭ}_i}{\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_i}} \right), \quad (5)$$

где E_i – напряженность электрического поля, создаваемого i -й антенной, В/м; $E_{\text{ПДУ}_i}$ – предельно допустимое значение напряженности электрического поля для данного диапазона, В/м; ППЭ_i – плотность потока энергии, создаваемого i -й антенной, мкВт/см²; $\text{ППЭ}_{\text{ПДУ}_i}$ – предельно допустимое значение плотности потока энергии для данного диапазона, мкВт/см².

В пределах ЗОЗ $K_6 > 1$, за ее пределами $K_6 < 1$.

Таблица 3. Характеристика критерия безопасности и зоны ограничения застройки

Азимут, град	K_6 на высоте 2,0 м	Высота зоны ограничения застройки, м	Максимальный радиус зоны 2,5 мкВт/см ² , м
20	0,3137	10,3	101,9
120	0,7247	5,0	133,3
240	0,5700	5,6	133,6

Суммарное воздействие ППЭ на высоте 2 м от поверхности земли на расстоянии 0...1000 м от передающих антенн не превышает 72,47 % ПДУ. Таким образом, для размещения и эксплуатации базовой станции не требуется

введение СЗЗ, но необходимо введение ЗОЗ. Минимальная высота ЗОЗ – не менее 5 м. Существующие жилые здания находятся вне зоны ограничения. При соблюдении ЗОЗ вокруг рассматриваемого радиотехнического объекта создаваемое им ЭМП является безопасным для здоровья человека.

Результаты выполненных исследований свидетельствуют о том, что под действием ЭМП, создаваемого радиотехническими объектами системы сотовой мобильной связи, находится значительная часть населения Украины, что обуславливает необходимость дальнейшего всестороннего изучения действия данного фактора на организм человека. Это позволит научно обосновать нормативы на уровень электромагнитного излучения радиотехнических объектов сотовой связи, которые будут положены в основу при разработке комплекса профилактических средств для обеспечения безопасных условий эксплуатации данного оборудования населением.

1. <http://www.mforum.ru/news/article/061645.htm>.

2. *Васильев А. С. и др.* Магниторецепторные реакции у стекловидного угря // *Биофизика*, 1973.

3. *Григорьев О. А., Меркулов А. В.* Проблема экологических нормативов в условиях электромагнитного загрязнения окружающей среды // Матер. 3-й Междунар. конф. «Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования», 17–24 сент. 2002 г. – Москва–Санкт-Петербург. – М., 2002. – С. 25–27.

4. *Подковкин В. Г.* Особенности гормонально-медиаторной регуляции организма в условиях изолированного и комбинированного действия различных неионизирующих факторов окружающей среды (геомагнитное поле, постоянное магнитное поле, электромагнитное излучение): Автореф. дис.... докт. биол. наук. – М., 1994. – 39 с.

5. *Темурьянц Н. А., Владимирский Б. М., Тишкин О. Г.* Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. – К.: Наук. думка, 1992. – 188 с.

6. *Тугарова А. В., Смян М. В., Шигаев А. В. и др.* Численность и активность ризосферной микрофлоры овса и подсолнечника под высоковольтными линиями электропередач // Матер. науч.-практич. конф. «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения». – Саратов: Изд-во СГУ, 2000.

7. *Тоун У. Ф., Гоулд Дж. Л.* Чувствительность медоносных пчел к магнитному полю // Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме. – М.: МИР, 1989. – С. 147–173.

8. *Шляхтин Г. В., Аникин В. В., Завьялов Е. В. и др.* Влияние ЭМП на структуру и динамику биологических систем надорганизменного уровня // Матер. науч.-практич. конф. «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения». – Саратов, 2000. Изд-во СГУ. – 2000. – С. 34–35.

9. *Холодов Ю. А.* Реакции нервной системы на электромагнитные поля. М.: Наука, 1975.

10. *Sheppard A. R.* Biological Effects of High Voltage Direct Current Transmission Lines. – Report to the Montana Department of Natural Resources and Conservation, Helena. – NTIS publication, PB 83 207258, April. – 1983.

11. *Чернышев В. Б.* Влияние электромагнитных полей на поведение насекомых // Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу. – М.: Наука, 1971. – 231 с.

12. *Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань: № 239 від 01.08.96 / МОЗУ.* – К., 1996. – 28 с.