

АНАЛИЗ УРОВНЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАДИОСРЕДСТВ СОТОВЫХ СЕТЕЙ И ИХ СООТВЕТСТВИЯ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫМ УРОВНЯМ И НОРМАМ

ANALYSIS OF THE LEVELS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF RADIO CELLULAR NETWORKS AND THEIR COMPLIANCE WITH LIMIT VALUES AND NORMS

*N. Grachev
S. Safonov*

Annotation

We consider the categories of persons exposed to radiation fields produced with radio cellular networks. A comparison of the permissible levels of radiation contained in national and international regulations. Calculated fluence in four points near the typical cellular base station.

Keywords: cellular networks, electromagnetic security, electromagnetic radiation, the maximum permissible radiation levels.

*Грачев Николай Николаевич
К.т.н., профессор, Национальный
исследовательский университет
"Высшая школа экономики"
Сафонов Сергей Николаевич
Ст. преподаватель, Национальный
исследовательский университет
"Высшая школа экономики"*

Аннотация

Рассмотрены категории лиц, подвергающихся облучению полями, создаваемыми радиосредствами сотовых сетей. Проведено сравнение допустимых уровней излучений, содержащихся в отечественных и зарубежных нормативных документах. Рассчитаны плотности потока энергии в четырех типичных точках вблизи базовой станции сотовой связи.

Ключевые слова:

Сотовые сети, электромагнитная безопасность, электромагнитные излучения, предельно допустимые уровни излучения.

Проблема защиты человечества от действия электромагнитных излучений (ЭМИ) в настоящее время приобретает все более важное значение, так как число источников ЭМИ растет, возрастают их мощности. В частности, растет использование электронных средств (компьютеров, телевизионных приемников, радиотелефонов, оргтехники, бытовых приборов и т.п.), пропорционально растет и число людей, у которых появились проблемы со здоровьем, связанные с воздействием электромагнитных излучений. Вот почему возникла необходимость постановки и решения одной из актуальных задач – защиты человечества от электромагнитных воздействий. Появился даже термин "электромагнитное загрязнение", который сейчас применяют многие специалисты, считая его своевременным и точно отражающим электромагнитную обстановку [1, 2].

В отличие от других факторов окружающей среды, "электромагнетизм" используется в производстве и быту, и его невозможно пока заменить на что-либо другое, менее вредное. И поскольку ЭМИ сопутствуют повседневно и везде в нашей жизни, то вполне правомочна постановка вопроса об обеспечении электромагнитных условий

жизни и деятельности человека. Большая часть населения (жители промышленных центров, городов) фактически живет в весьма сложном электромагнитном поле, интенсивность которого на несколько порядков превосходит уровень естественного поля и резко отличается по своим характеристикам от полей естественного происхождения.

Электромагнитное загрязнение переходит в разряд глобальных проблем, стоящих перед человечеством.

Бурное развитие сотовых систем связи сопряжено с облучением пользователей небезвредным электромагнитным полем. Проблема электромагнитной безопасности технических средств систем подвижной связи изучена слабо. Если экологической чистоте компьютеров по электромагнитному фактору уделяется должное внимание, как за рубежом, так и в нашей стране (разработаны соответствующие ГОСТы, нормативы, ведутся дальнейшие исследования), то над повышением безопасности радиотелефонов работают лишь разработчики оборудования стандарта GSM, но до сих пор проблема остается нерешенной.

В подавляющем большинстве случаев не только пользователи радиотелефонов, но и сами операторы сетевых сетей не имеют полного представления о степени опасности эксплуатируемых радиосредств, хотя данный вопрос волнует как тех, так и других.

Необходимо соблюдать осторожность при выборе тех или иных типов радиостанций и радиотелефонов, чтобы быть уверенным в безопасности их эксплуатации, которая определяется предельно допустимыми уровнями (ПДУ) плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитного поля (ЭМП).

Сеть сотовой связи состоит из прилегающих друг к другу радиоячеек, вместе обеспечивающих полный охват зоны обслуживания. В каждой ячейке имеется базовая приемопередающая станция (БС), работающая со специальной группой радиоканалов, которые отличаются от каналов соседних ячеек. Группой БС управляет контроллер БС, в функции которого входит управление их мощностью и контроль за передачей обслуживания абонента при его перемещении из одной ячейки в другую. Группу контроллеров БС обслуживает узел коммутации сообщений службы подвижной связи, который осуществляет соединения с телефонной сетью общего пользования, цифровой сетью с интеграцией служб, сетью передачи данных общего пользования и, возможно, различными частными сетями.

В состав сотовых систем входят также подвижные объекты со своими мобильными станциями (МС). По радиоканалу все МС соединяются с БС, которые содержат приемники, передатчики и блоки управления для связи с контроллерами БС. Таким образом, одна из основных функций БС – сопряжение стационарной части сотовой системы с МС подвижных объектов.

В зависимости от размера соты мощность БС составляет обычно 30...100 Вт. Максимальная мощность МС зависит от "класса" используемых средств передвижения, на которых установлена станция. Например, для стандарта GSM предусматривают 5 классов: автомобильные или портативные МС мощностью 20 Вт; автомобильные или портативные МС мощностью 8 Вт; карманные МС мощностью 5 Вт, 2 Вт и 0,8 Вт.

Облучению ЭМП, создаваемым антеннами перечисленных станций, подвергаются различные категории лиц. Среди них можно выделить три группы: лица, связанные с источниками ЭМП по долгу службы (персонал БС, работники антенных служб, полиции, пожарной охраны и др.); население, проживающее в районах размещения БС; пользователи радиотелефонов в производственных и бытовых условиях. В соответствии со сложившейся практикой нормирования уровней ЭМП допустимые уровни для первой группы лиц (профессиональное облучение)

регламентируются в соответствии с ГОСТ 12.1.006–84 [3], для второй группы (население, подвергающееся практически круглосуточному воздействию) – в соответствии с СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383–03 [4], что не противоречит действующим сегодня в России нормативным документам.

Использовать требования [3, 4] для третьей группы лиц не представляется возможным, так как они профессионально не связаны с источниками ЭМП и пользуются МС, на которые не распространяются требования [4]. В связи с этим для данной категории лиц были разработаны специальные требования, регламентирующие уровни ЭМП, создаваемые антеннами базовых станций на территориях жилой застройки, внутри жилых, общественных и производственных помещений [5]. Этот же документ регламентирует временные допустимые уровни воздействия на человека ЭМП, создаваемых подвижными станциями сухопутной радиосвязи непосредственно у головы пользователя.

Эти требования учитывают следующие особенности взаимодействия ЭМП с организмом человека: антенны радиотелефонов располагаются в непосредственной близости от пользователя; облучению подвергаются ограниченные участки тела, как правило, верхняя часть туловища и голова; облучение ЭМП непрерывного режима генерации носит характер нерегулярно повторяющихся сеансов, чаще, небольшой продолжительности, разделенных более или менее длительными паузами.

Специалистами НИИ медицины труда РАМН были проведены работы по определению степени биологического действия ЭМП на живой организм. В эксперименте было изучено влияние данного фактора на наиболее чувствительные к радиоизлучениям системы организма (центральная нервная, иммунная, симпатoadrenalовая), а также на рост, развитие и др.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что эффекты воздействий с ППЭ ниже 500 мкВт/см² не обладают признаками вредного воздействия. Уровень 250 мкВт/см² при ежедневном воздействии на протяжении 3–х месяцев может рассматриваться в качестве порога биологического действия. Поскольку при регламентации ЭМП для пользователей радиотелефонов речь идет о непрофессиональном воздействии, принято целесообразным для обоснования ПДУ исходить именно из уровня 250 мкВт/см². При экстраполяции экспериментальных данных на человека были учтены различия в поглощении электромагнитной энергии и в продолжительности воздействия этого фактора. Различия в поглощении энергии мелкими лабораторными животными и человеком в диапазоне 800...1000 МГц составляют примерно 14...15 раз, т.е. эквивалентное поглощение энергии имеет место, когда ППЭ составляет 250 мкВт/см² для мышей и 3750

мкВт/см² для человека.

Если принять в качестве возможного срока облучения человека период в 50 лет, то коэффициент экстраполяции по продолжительности воздействия составит 7,5. И, наконец, поскольку норматив устанавливается исходя из порога биологического действия (а не вредного воздействия), представляется достаточным принять коэффициент гигиенического запаса, равный 5.

Таким образом, в качестве ПДУ воздействия для пользователей МС предлагается уровень 100 мкВт/см² [пду = (250 15)/(5 7,5)].

По данным социологической службы "Мониторинг", 36% москвичей тратят на телефонные разговоры до 15 минут в день, 28% – около 30 минут, 20% – около часа. Таким образом, почти 85% населения разговаривает по телефону менее 1 часа в день. Поскольку время воздействия в течение дня абсолютного большинства пользователей не превышает 1 часа, получаемая в итоге энергетическая нагрузка (100 мкВт× ч/см²) на организм оказывается меньше, чем допускаемые [1] и [2] (200 и 240 мкВт× ч/см²).

Результатом проведенных исследовательских работ стал нормативный документ СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 "Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи" [5].

Согласно этому документу воздействие ЭМП сотовых систем связи подразделяется на профессиональное и непрофессиональное. Профессиональному воздей-

ствию, как было отмечено выше, подвергается первая группа лиц, непрофессиональному – две другие. Для оценки воздействия на персонал, обслуживающий оборудование базовых станций (первая группа лиц) энергетическая экспозиция ЭЭ_{ППЭ пду} в диапазоне частот от 300 МГц до 2400 МГц рассчитывается по формуле

$$ЭЭ_{ППЭ пду} = ППЭ \cdot T,$$

где

ППЭ – плотность потока энергии, мкВт/см²;

T – время воздействия, ч.

ПДУ воздействия ЭМП базовых станций на рабочих местах персонала составляет 200 мкВт× ч/см².

Для населения, подвергающегося облучению антеннами БС, ПДУ ЭМП установлен 10 мкВт/см².

Для пользователей, подвергающихся облучению МС, временные допустимые уровни ППЭ ЭМП составляют 100 мкВт/см².

Исходя из результатов проведенного моделирования уровней ЭМП, создаваемого МС, было сделано заключение о том, что среди карманных МС требованиям разрабатываемого гигиенического норматива удовлетворяют станции мощностью 0,8 Вт. Допустимо применение станций мощностью до 1 Вт.

В таблице для сравнения приведены данные из национальных стандартов ряда стран и рекомендаций международных организаций. Нетрудно заметить, что требования норматива РФ – более жесткие, по сравнению с национальными зарубежными стандартами и международными рекомендациями.

Таблица 1.

Данные из национальных стандартов ряда стран и рекомендаций международных организаций.

| Страна, организация | Область распространения нормативного документа | Частотный диапазон, МГц | ПДУ воздействия, мкВт/см ² | Время усреднения, мин |
|---|--|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| РФ, СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 | пользователи радиотелефонов | 400...1200 | 100 | - |
| США, стандарт ANSY C.95.1-91 | неконтролируемые условия | 300...300000 | 200...2000 | 30 |
| Германия | персонал и население | 30...3000 | 2500 | 6 |
| Всемирная организация здравоохранения, рекомендации IRPA/INIRC* | население | 400...2000 | 200...1000 | 6 |
| CENELEK** (проект стандарта) | неконтролируемые условия | 400...2000 | 200...1000 | 6 |

Примечание

* INIRC – Международный комитет по защите от ионизирующих излучений; ** CENELEK – Европейский комитет по электромагнитной стандартизации.

Таким образом, введенные в Российской Федерации требования по ПДУ ППЭ ЭМП для пользователей радиотелефонов значительно жестче, чем требования ряда национальных стандартов и международных рекомендаций. Для карманных радиотелефонов наиболее приемлем уровень мощности 0,8 Вт.

Первый в мировой практике нормативный документ ГН 2.1.8/2.2.4.019–94 "Гигиенические нормативы. Временные допустимые уровни воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи" получил развитие в действующем документе СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190–03.

Основными элементами системы сотовой связи являются базовые станции (БС), которые поддерживают радиосвязь с мобильными радиотелефонами (МРТ). Базовые станции БС и МРТ являются источниками электромагнитного излучения в УВЧ-диапазоне. Базовые станции поддерживают связь с находящимися в их зоне действия мобильными радиотелефонами и работают в режиме приема и передачи сигнала. В зависимости от стандарта, БС излучают электромагнитную энергию в диапазоне частот от 463 МГц до 1880 МГц.

Антенны БС устанавливаются на высоте от 15 до 100 метров от поверхности земли на уже существующих постройках (общественных, служебных, производственных и жилых зданиях, дымовых трубах промышленных предприятий и т.д.) или на специально сооруженных мачтах. К выбору места размещения антенн БС с точки зрения санитарно-гигиенического надзора не предъявляется никаких иных требований, кроме соответствия интенсивности электромагнитного излучения предельно допустимым уровням, установленным действующими Санитарными правилами и нормами [5], согласно которым для базовых станций (БС) систем сотовой связи (ССС) нормируются два значения плотности потока энергии (ППЭ) – ППЭ₁ для воздействия на производственный персонал и ППЭ₂ для воздействия на население. Уровень ППЭ₁ определяется как $ППЭ_1 = 200/T$, мкВт/см²; где T – время воздействия ЭМИ, ч. При 8-часовом рабочем дне $ППЭ_1 = 25$ мкВт/см². Для населения $ППЭ_2 = 10$ мкВт/см².

Схема расположения излучателя А БС СССР и типичных точек измерения ППЭ в зоне обслуживания $M_1...M_4$ показана на рис.1. Точка M_1 на высоте $h_1 = 2$ м соответствует границе R1 санитарно-защитной зоны, определяемой согласно [6]. Точка M_2 на высоте h_2 представляет интерес в случае нахождения уровней ППЭ₂ для жителей близлежащих домов. Точка M_3 соответствует зоне ограничения застройки на высоте h_3 , соизмеримой с высотой H_A расположения излучателя А над поверхностью почвы [6]. Наконец, точка M_4 на высоте $h_4 \sim H_A$ рассматривается, если определяют уровни ППЭ₁ для производственного персонала. Из рис. 1 следует, что при известных $H_A, h_i,$

R_i , где i – номер точки [3, 6], легко вычислить расстояние r , необходимое для определения уровня ППЭ в любой точке M :

$$ППЭ = (30 \cdot P_A \cdot G_A \cdot \eta_{\Phi} \cdot k_{\Gamma}^2 / r^2 \cdot Z_C) \cdot F^2(\Delta, \varphi), \quad (1)$$

где

P_A – мощность сигнала, излучаемого А; G_A – коэффициент усиления А относительно изотропного излучателя; η_{Φ} – КПД антенно-фидерного тракта; k_{Γ} – интерференционный множитель, учитывающий влияние подстилающей поверхности; Z_C – волновое сопротивление окружающей среды; $F^2(\Delta, \varphi)$ – значение характеристики направленности А по ППЭ для точки М с угловыми координатами Δ, φ в системе сферических координат с центром, совмещенным с серединой А.

Для типовых станций BTS-902F стандарта GSM $P_A = 20$ Вт; $G_A = 65$ (для антенны ETEL) и $G_A = 13$ (для штыревой антенны); $\eta_{\Phi} = 0,25$; кроме того, $k_{\Gamma} = 1,15...1,3$ (принимается равным 1,2); $Z_C = 377$ Ом (для свободного пространства). Тогда, допуская, что максимальный уровень бокового излучения А (с учетом затенения и взаимного влияния излучателей) не превышает – 30 дБ, получаем из (1) координату зоны ограничения застройки на высоте $h_3 = H_A$

$$R_0 = (30 \cdot P_A \cdot G_A \cdot \eta_{\Phi} / ППЭ_2 \cdot Z_C)^{1/2} \cdot k_{\Gamma} = 19,3 \text{ м и } 8,6 \text{ м,}$$

соответственно для антенны ETEL и штыревой антенны. Санитарно-защитная зона на высоте $h_1 = 2$ м в этом случае отсутствует: ограничение по R начинается с высоты

$$h_m = H_A - (30 \cdot P_A \cdot G_A \cdot \eta_{\Phi} / ППЭ_2 \cdot Z_C)^{1/2} \cdot k_{\Gamma} \cdot F_m \sim H_A,$$

поскольку с учетом изложенного уровень бокового излучения А составляет $F_m \ll 1$.

Приведенные оценки, согласно [6], носят завышенный характер, что подтверждается результатами измерения реальных уровней ППЭ действующих станций сети GSM. Так, например, разница в ППЭ в точке M_4 (на крыше высотного здания), в холле первого этажа и около подъезда (точка M_1) составляет для разных объектов не менее 40...60 дБ (для расчетов принимали равной 30 дБ). Поэтому отсутствие санитарно-защитной зоны на высоте $h_1 = 2$ м для БС стандарта GSM в реальных условиях можно считать достоверно установленным фактом.

Представляет интерес сравнительный анализ безопасности излучателей СССР разных стандартов, размещенных на одном и том же объекте (точки M_4, M_2 и M_3 на рис. 1).

Результаты измерения уровней ППЭ для излучателей СССР стандартов GSM и AMPS, а также системы подвижной связи "Волемот", размещенных на крыше здания телеграфа в Самаре, показывают, что в непосредственной близости от А (точка M_4) наименьший; средний уровень ППЭ по всей площади крыши дают излучающие средства GSM (на 16,5 дБ меньше по сравнению с AMPS и на 26,8

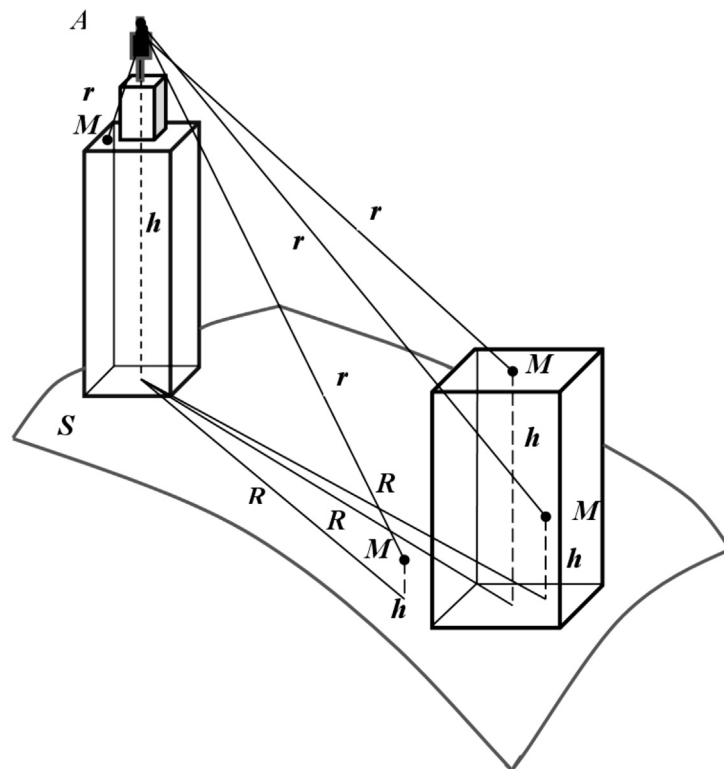


Рисунок 1. Схема расположения излучателя А БС ССС и типичных точек измерения ППЭ в зоне обслуживания $M_1 \dots M_4$

дБ меньше по сравнению с "Волемот"). Причем излучатели системы "Волемот" создают в пределах крыши уровень ППЭ $< 2,5 \text{ мкВт/см}^2$, т.е. все БС как порознь, так и в совокупности, создают ЭМИ, не превышающее предельно-допустимых значений [5].

На прилегающей части территории города (точки M_2 и M_3) излучатели GSM создают ППЭ в среднем на 4,5 дБ меньше по сравнению с AMPS и на 27 дБ меньше по сравнению с "Волемот". Другими словами, наибольшая

безопасность БС GSM достигается не только при наименьшем уровне излученной мощности PA, но при использовании антенн наиболее рациональной конструкции (например, ETEL-0,5), которые концентрируют ЭМИ в направлении зоны обслуживания и ослабляют его уровни в близлежащем пространстве. Заметим, что в рассмотренном случае для всех излучателей $\text{ППЭ} \ll \text{ППЭ}_2$, поэтому обследованный объект можно считать безопасным по фактору ЭМИ как для персонала, так и для населения города.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авраамов Ю.С., Грачев Н.Н., Шляпин А.Д. Защита человека от электромагнитных воздействий. – М.: МГИУ, 2002. – 232 с.
2. Грачев Н.Н. Защита человека от опасных излучений /Н.Н. Грачев, Л.О. Мырова – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 317 с.
3. ГОСТ 12.1.006–84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
4. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383–03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов.
5. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190–03. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи.
6. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055–96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона.