

УДК 537.8

Ю. В. Крушевский, к. т. н., доц.; Ю. И. Кравцов; Я. А. Бородай

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ УСТРОЙСТВ СОТОВОЙ СВЯЗИ НА ЧЕЛОВЕКА

В работе разработаны методы расчета интенсивности облучения человека антеннами базовых станций сотовой связи и приближенного расчета времени безопасного пользования мобильным радиотелефоном, приведены примеры расчетов.

Ключевые слова: сотовая связь, мобильный радиотелефон, влияние на здоровье человека.

Введение

Сотовая радиотелефония является сегодня одной из наиболее развитых телекоммуникационных систем. На сегодняшний день только в Украине насчитывается более 50 миллионов абонентов, которые пользуются услугами этого вида подвижной (мобильной) связи. Отечественные операторы мобильной связи используют системы стандартов GSM – 900: диапазон рабочих частот базовых станций 925 ... 965 МГц, мобильных радиотелефонов – 890 ... 915 МГц и стандарта GSM – 1800: – 1805 ... 1880 МГц, 1710 ... 1785 МГц соответственно.

В работе этой системы применяется деление определенной территории на зоны, на „соты“, в узлах которых расположены базовые станции системы сотовой связи на расстояниях 0,5 ... 1,0 километра одна от другой в населенных пунктах и до 10 км – в других местностях.

В Украине предельно допустимыми уровнями действия электромагнитного излучения на человека, в соответствии с действующими санитарными нормами и правилами, является плотность потока мощности, которая равняется 2,5 мкВт/см² для базовых станций и 25 мкВт/см² – для мобильных радиотелефонов. Кстати, в России они составляют 10 и 100 мкВт/см² соответственно, а в Западной Европе – в несколько раз больше, чем в России.

Антенны базовых станций системы сотовой связи, которые используются операторами мобильной связи в Украине, излучают мощность в пределах 8...16 Вт. Они размещаются на крышах домов, дымовых трубах и т.п. или на специальных мачтах на высотах 30 ... 35 м над поверхностью земли. Эти антенны имеют круговые диаграммы направленности в горизонтальной плоскости и острые – в вертикальной плоскости, наклоненные к горизонтالي под углом 1 ... 2 градуса, имея форму зонтика.

Мобильный радиотелефон представляет собой малогабаритный приемо-передатчик. Мощность излучения его (в режиме передачи) находится в пределах 0,1 ... 1,0 Вт. Она является величиной переменной и зависит от состояния канала связи „мобильный радиотелефон – базовая станция“, то есть чем сильнее сигнал базовой станции в точке принятия, тем меньше мощность излучения мобильного радиотелефона. Однако в реальных условиях, как подсказывает опыт, она в среднем не превышает 0,25 Вт при работе в населенном пункте на открытой местности. В автобусе, такси, электричке и в других экранированных помещениях эта мощность может увеличиться до максимальной.

Анализ последних исследований и публикаций

Плотность потока мощности электромагнитного поля Π , излучаемого антенной, рассчитывается по формуле [2]:

$$\Pi = \frac{PG}{4\pi \cdot r^2} F(\theta) \cdot F(\varphi) \cdot k, \quad (1)$$

где P – мощность излучения антенны, G – коэффициент ее усиления, $F(\theta)$ и $F(\varphi)$ –

нормированные функции направленности антенны, r – расстояние в свободном пространстве между антенной и точкой наблюдения, которая находится в дальней зоне поля антенны.

По международным требованиям мощность излучения сотовых телефонов измеряют в единицах SAR (Specific Adsorption Rate) – удельная поглощенная мощность, отнесенная к единице массы тела или ткани. В единицах SI SAR определяется в Вт/кг. На сегодня верхней границей значения SAR в Европе является величина 0,8 Вт/кг [3].

Величину SAR измерять достаточно сложно, потому что для этого необходимы специальное оборудование и точные имитаторы тканей человеческого организма. Не существует в мире и единственной методики таких измерений. Поэтому результаты, полученные в разных независимых центрах, могут отличаться в несколько раз. Потому наиболее реальным является результат оценивания плотности потока мощности электромагнитного излучения мобильного телефона, исходя из его мощности.

При действии любого электромагнитного излучения принято выделять [3] два эффекта: тепловой и нетепловой (информационный).

Тепловой эффект [3]. Тело человека, как известно, содержит жидкость, которая по электрофизическим свойствам является электролитом (раствором в воде большого количества кислот, солей микроэлементов и т. п.), то есть является средой с большими диэлектрическими потерями электромагнитной энергии, которая тратится на ее нагревание. Поскольку мозг человека насыщен жидкостью, он является средой, которая интенсивно нагревается при действии на него электромагнитного излучения.

Отметим, что антенна телефона находится на расстоянии приблизительно 5 сантиметров от головного мозга, на который это электромагнитное излучение и действует. Естественно, что температура соответствующих участков мозга повысится. При длительном разговоре этот эффект можно ощутить по повышению температуры ушной раковины. Подсчитано, что при величине SAR 4 Вт/кг на протяжении 30 минут температура ткани уха взрослого человека повышается на 1 градус Цельсия. Это является вредным эффектом для любых органов, которые будут реагировать нарушением своих функций.

Другим органом, особенно чувствительным к действию электромагнитного излучения, является хрусталик глаза. Тело хрусталика – желеобразная масса, которая может потерять свою прозрачность под воздействием излучения, то есть привести к катаракте глаза.

Нетепловой (информационный) эффект. Сущность его заключается в том [3], что мобильные телефоны стандарта GSM осуществляют передачу информации импульсами, объединенными в блоки. Блок состоит из 8 импульсов. В распоряжении каждого пользователя только один из восьми импульсов. Остальные семь импульсов принадлежат другим семи абонентам, которые в это время на той же частоте могут вести разговоры.

Длительность одного GSM-блока составляет 4,616 мс, а следовательно, частота пульсаций мобильного телефона составляет $1/4,616 = 217$ Гц. С генерацией каждого восьмого импульса происходит и пропорциональное выделение энергии. Если номинальная мощность сотового телефона, в соответствии с инструкцией, равна 2 Вт, то мощность, выделяемая при каждом импульсе, будет: $2/8 = 0,25$ Вт. Блоки упомянутых импульсов между мобильным телефоном и базовой станцией группируются в мультиблоки, состоящие из 26 повторений. Следовательно, второй частотой, излучаемой сотовым телефоном, является частота: $217/26 = 8,35$ Гц. Более того, некоторые виды сотовых аппаратов, работающие в энергосберегающем режиме, способны генерировать третью частоту – 2 Гц. Вот в этом наборе низкочастотного излучения и таится еще одна опасность мобильной связи. Дело в том, что упомянутые частоты сотовых телефонов совпадают с частотами собственной, естественной биоэлектрической частоты активности головного мозга человека, которые регистрируются на электроэнцефалограмме. Так частота 217 Гц совпадает с так называемым гамма-ритмом мозга; 8,35 Гц совпадает с альфа-ритмом; 2 Гц совпадает с дельта-ритмом.

Следовательно, извне к головному мозгу человека переносятся сигналы, способные

взаимодействовать с собственной биоэлектрической активностью головного мозга (например, путем резонанса) и тем самым нарушать его функции. Такие изменения заметны на электроэнцефалограмме и не исчезают длительное время по окончании разговора. Очень важно отметить еще и то, что именно волны альфа-ритма являются чрезвычайно индивидуальными, непосредственно связанными с умственной деятельностью человека и, как считается, являются отражением сканирования внутренних образов сознания. Абстрактное мышление связано именно с альфа-ритмом мозга, во время сна преобладает ритм дельты, а гамма-волны преобладают при активной деятельности человека. Является ли реальным негативное действие пульсирующих источников энергии на организм человека? Медикам известен такой случай, когда действие на человека пульсирующим освещением с частотой 15 Гц, имеющего скрытую форму фоточувствительной эпилепсии, приводило к возникновению приступа этой болезни.

Опасность также несет привычка некоторых людей класть возле себя мобильный телефон, используя его в качестве будильника. Мобильный телефон ночью не “спит”, а постоянно, даже в состоянии ожидания вызова, работает в пульсирующем режиме.

О большей чувствительности к влиянию излучения у молодых людей свидетельствуют исследования, проведенные среди 11 тысяч пользователей сотовой связи по заказу Norwegian Radiation Protection Board, Национальным институтом “Рабочая жизнь” (Швеция), а также SINTEF Unimed (Норвегия). Изучение показало, что люди, пользующиеся телефоном меньше двух минут в день, жаловались на дискомфорт и посторонние эффекты. Проблемы со здоровьем возрастут, если пользоваться телефоном дольше. Половина опрошенных абонентов сообщили, что при использовании сотовых телефонов чувствуют неприятное разогревание в области головы, возле уха. Наибольшему риску подвергаются молодые люди, кому еще нет 30 лет, которые в три-четыре раза чувствительнее к посторонним эффектам.

Особенно чувствительны к высокочастотному излучению мобильных телефонов дети, потому что их иммунная система еще не сформирована и защитные реакции организма не достаточно развиты. Следует отметить, что излучение мобильных телефонов является очень вредным для беременных женщин, поскольку для эмбриона человека это излучение может быть даже губительным.

Основными симптомами неблагоприятного воздействия сотового телефона на состояние здоровья являются [3]:

- головные боли;
- нарушение памяти и концентрации внимания;
- постоянная усталость;
- депрессивные заболевания;
- боль и резь в глазах, сухость их слизистой оболочки;
- прогрессивное ухудшение зрения;
- лабильность артериального давления и пульса (замечено, что после разговора по мобильному телефону артериальное давление может повышаться на 5...10 мм рт. ст.);
- через 6 лет пользования мобильником риск развития опухоли мозга может повыситься на 50%.

Постановка задания

Предложить методы расчета фактического значения интенсивности облучения человека антеннами базовых станций системы сотовой связи в условиях большого города и приблизительного расчета времени безопасного пользования мобильным радиотелефоном, считая, что направленность и структура поля антенны мобильника в исследуемой промежуточной зоне практически не будут отличаться от их характера в зоне излучения. Подтвердить полученные результаты примерами из практики. Сделать выводы и дать практические рекомендации.

Основные материалы статьи

Расчет влияния электромагнитного излучения базовых станций на человека

Воспользуемся выражением (1), но внеся туда два коэффициента k_1 , k_2 , и тогда плотность потока мощности электромагнитного поля, излучаемого антенной базовой станции и воздействующего на человека, можно рассчитать по формуле:

$$\Pi = \frac{PG}{4\pi \cdot r^2} F(\theta) \cdot F(\varphi) \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (2)$$

где k_1 – модуль коэффициента отражения на границе “воздух – стена здания”, k_2 – модуль коэффициента преломления (прохождение) на границе “стена здания или перекрытие между этажами – воздух”. Значения этих коэффициентов зависят от угла падения радиолуча на стену или перекрытие и от электрофизических параметров материалов, из которых изготовлено перекрытие или сложена стена. Однако известно, что эти коэффициенты по модулю, так же как и функции $F(\theta)$ и $F(\varphi)$, не могут превышать единицы.

Исходя из формулы (2), видим, что выбранные условия являются наименее благоприятными для здоровья человека. Ради удобства пользования формулой (2), представим P – в микроваттах, r – в сантиметрах, Π – в мкВт/см², и перепишем ее таким образом:

$$\Pi = \frac{25PG}{\pi \cdot r^2}. \quad (3)$$

Решив уравнение (3) относительно r , получим формулу:

$$r = 5 \sqrt{\frac{PG}{\pi \cdot \Pi}}, \quad (4)$$

по которой можно определить минимальное расстояние от антенны, на котором интенсивность облучения будет равна Π мкВт/см² при мощности излучения P Вт и коэффициенте усиления G антенны базовой станции.

Антенна базовой станции имеет круговую диаграмму направленности в горизонтальной плоскости и узкую (7° по половинной мощности) в вертикальной плоскости. Она также имеет малый наклон (2°) направления максимума излучения по отношению к поверхности земли.

Пример 1

Рассмотрим типичный случай, например, когда $P = 8$ Вт, $G = 17$ дБ и высота поднятия антенны над поверхностью земли $h = 32$ м. Если в уравнение (3) подставить принятые величины, а Π взять равным 2,5 мкВт/см² – предельно допустимой по медико-санитарным нормам величине, то расстояние r в направлении основного лепестка диаграммы направленности антенны будет равным 35,8 м. Таким образом, уже на расстоянии 36 м от антенны в направлении основного лепестка диаграммы направленности антенны для человека излучение становится безопасным. Очевидно, что на этом же расстоянии от антенны в других направлениях гарантия безопасности будет еще большей. Непосредственно под антенной и в других направлениях действуют боковые лепестки диаграммы, где интенсивность излучения антенны уменьшается почти на порядок, точки с допустимыми значениями плотности потока мощности будут находиться на расстояниях не более 10 м от антенны.

Если, например, антенна базовой станции расположена на крыше жилого дома на высоте 5 м, то жители уже верхнего этажа, защищенные железобетонным перекрытием, будут облучаться с интенсивностью на порядок ниже допустимой нормы. Касательно жителей соседних домов, достаточно, чтобы верхние этажи были ниже антенны при расстоянии от нее не менее 30 м. Это условие всегда выполняется при соблюдении норм на расстояние

между домами при строительстве.

Пешеходы автоматически попадают в зону безопасности, даже когда из тротуара они видят антенну базовой станции, потому что расстояние к ней увеличивается на значение высоты дома, на котором установлена антенна. Еще меньше облучаются люди в помещении или на улице при попадании на них волны, отраженной от стены здания.

Расчет времени безопасного пользования мобильным радиотелефоном

Если мощность излучения антенны мобильного радиотелефона обозначить через P_M , коэффициент усиления антенны телефона – через G_M , расстояние до точки облучения – через r , то приближенно для промежуточной и ориентировочно для ближней зон среднее значение плотности потока мощности Π_M , излучаемой радиотелефоном можно рассчитать по формуле:

$$\Pi_M = \frac{P_M \cdot G_M}{4\pi \cdot r^2} . \quad (5)$$

Разделив Π_M на предельно допустимое значение потока мощности $\Pi_{\text{доп}} = 25 \text{ мВт/см}^2$, получим число k , которое показывает во сколько раз Π_M – фактическая интенсивность облучения, превышает допустимую

$$k = \frac{\Pi_M}{\Pi_{\text{доп}}} . \quad (6)$$

Такое превышение имело бы место, если бы объект облучения находился в потоке мощности круглосуточно.

Следовательно, чтобы определить предельно допустимое время t безопасной работы мобильного телефона в течение суток, достаточно 24 часа (длительность суток) разделить на коэффициент превышения k :

$$t = \frac{24}{k} . \quad (7)$$

Подставив значение Π_M с (4) в (5) и новое значение k в (6), получим:

$$t = \frac{96\pi \cdot r^2 \cdot \Pi_{\text{доп}}}{P_M \cdot G_M} . \quad (8)$$

Для удобства пользования этой формулой время суток переведем в минуты, мощность P_M выразим в микроваттах, расстояние r – в сантиметрах, и тогда по окончательной формуле будем иметь результат в минутах:

$$t = \frac{5,76\pi \cdot r^2 \cdot \Pi_{\text{доп}}}{P_M \cdot G_M \cdot 10^3} . \quad (8)$$

Пример 2

Выбираем практически среднее значение мощности излучения мобильным телефоном $P_M = 2 \cdot 10^5 \text{ мкВт}$; $r = 5 \text{ см}$ (расстояние от антенны телефона к голове пользователя); $\Pi_{\text{доп}} = 25 \text{ мкВт/см}^2$; $G = 1$ (считая, что в средней зоне антенна имеет практически единичную направленность). Подставив эти значения в формулу (8), будем иметь: $t = 56,52$ минуты.

Округляя полученный результат в пользу здоровья пользователя, отметим, что общее время пользования мобильным радиотелефоном следует ограничить 50 минутами в сутки. При необходимости использования мобильного телефона в экранированном помещении постоянно (в кабине или салоне автомобиля и т.п.) это время следует сократить в 4 – 5 раз.

Выводы и рекомендации:

1. Излучения антенн базовых станций практически никакого влияния на здоровье человека не имеют.
2. При использовании мобильного радиотелефона взрослым человеком в течение суток безопасно говорить не более 50 минут на открытом пространстве.
3. Детям до 16 лет безопасно пользоваться мобильным телефоном не более 20 минут в течение суток.
4. Малолетним детям использование мобильного телефона следует запретить.
5. Время постоянного использования мобильного телефона взрослым человеком в экранированных помещениях (кабина, салон автомобиля, микроавтобуса и т. п.) следует сократить до 15 минут в сутки.
6. Помните, что ваш мобильный телефон все время находится в активном состоянии ожидания радиосвязи, и потому не носите его в кармане или на груди как медальон, особенно это касается молодых людей, беременных женщин и детей.
7. При использовании мобильного телефона не закрывайте заднюю крышку его корпуса ладонью или пальцами руки. Наше тело сильно поглощает электромагнитную волну, ослабляя сигнал от базовой станции, что "заставит" телефон работать при повышенной мощности.
8. Не пользуйтесь радиотелефоном за рулем, потому что это к тому же еще и отвлекает внимание водителя.
9. Не покупайте радиотелефон "на руках" без сопровождения соответствующей технической документации, помните о SAR-показателе.
10. Пользуйтесь мобильным телефоном только в случае необходимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскаков С.И. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Высшая школа, 1992. – 421с.
2. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1972. – 470с.
3. Сотовые телефоны. – Режим доступа: <http://electromag.by.ru/sar.html>.

Крушевский Юрий Владимирович – доцент кафедры радиотехники;

Кравцов Юрий Иванович – старший преподаватель кафедры радиотехники;

Бородай Ярослав Александрович – магистр кафедры радиотехники.
Винницкий национальный технический университет.