

УДК 613.168/.648.2:351.777.8:614.8.086.5

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ И МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ПРИ ГИГИЕНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*Биткин С.В., Думанский В.Ю., Сердюк Е.А., Павлык В.М., Галак С.С.,
Медведев С.В., Зотов С.В., Безверхая А.П., Безденежных Е.С., Прусов Д.Э.
ГУ «Институт гигиены и медицинской экологии им. А.М. Марзеева НАМНУ», г. Киев*

Вступление. Проблема сохранения и оптимизации окружающей среды в условиях научно-технического прогресса с его мощными средствами преобразования природы с каждым годом приобретает все более важное значение. Это связано с тем, что окружающая среда подвергается воздействию различных факторов, которые связаны с практической деятельностью человека. Среди этих факторов весомое место занимают электромагнитные поля (ЭМП).

Электромагнитное поле – это особая форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между заряженными частицами. Оно представляет собой взаимосвязанные переменные электрическое поле и магнитное поле. Взаимная связь электрического E и магнитного H полей заключается в том, что всякое изменение одного из них приводит к появлению другого: переменное электрическое поле, порождаемое ускоренно движущимися зарядами (источником), возбуждает в смежных областях пространства переменное магнитное поле, которое, в свою очередь, возбуждает в прилегающих к нему областях пространства переменное электрическое поле, и т.д. Таким образом, электромагнитное поле распространяется от точки к точке пространства в виде электромагнитных волн, распространяющихся от источника.

Электромагнитное поле описывается напряжённостью электрического поля E и магнитной индукцией B . Оно в свою очередь характеризуется двумя вспомогательными величинами: напряжённостью магнитного поля H и электрической индукцией D . Связь компонентов электромагнитного поля с зарядами и токами описывается уравнениями Максвелла.

Электромагнитное поле распространяется в пространстве в виде электромагнит-

ных волн. Электромагнитные волны представляют собой электромагнитные колебания, распространяющиеся в пространстве с конечной скоростью, зависящей от свойства среды, в которой они распространяются.

Распространяясь в средах, электромагнитные волны могут испытывать преломление или отражение на границе раздела сред, дисперсию, поглощение, интерференцию; при распространении в неоднородных средах наблюдаются дифракция волн их рассеивание и другие явления.

Электромагнитные волны различных диапазонов длин волн характеризуются различными способами возбуждения и регистрации, они по-разному взаимодействуют с веществом и живым организмом.

Основными параметрами электромагнитных волн являются их длина (λ) и частота (f), которая связана с длиной волны обратной зависимостью (для условий распространения волны в воздухе): $f = c/\lambda$, где c – скорость света. Частоты колебаний электромагнитных волн измеряются в Герцах (Гц): 1 килогерц (кГц) = 10^3 Гц, 1 мегагерц (МГц) = 10^6 Гц, 1 гигагерц (ГГц) = 10^9 Гц. На практике при оценке электромагнитной обстановки очень часто приходится учитывать отдельно или частоту колебаний, или длину волны.

Методические подходы к определению уровней электромагнитных полей.

Основной вопрос проблемы санитарно-гигиенического контроля электромагнитных полей состоит в проведении электромагнитного мониторинга, который предполагает оценку уровней электромагнитного поля в местах размещения излучающих объектов.

Понятие «мониторинг» в общем случае – это комплексная система наблюдений, оценки и прогноза окружающей среды. В соответствии с этим, система мониторинга

должна включать в себя методику расчета (прогноза) уровней ЭМП и их методику инструментального контроля.

Прогнозирование позволяет оценить состояние электромагнитной обстановки на стадиях проектирования, строительства или реконструкции излучающих объектов, оценить перспективу развития, безопасный ресурс энергетического потенциала, оптимизировать в гигиеническом плане размещение и характеристики направленности антенно-фидерных устройств.

Электрическое поле, создаваемое антеннами радиопередающих средств, имеет три зоны: ближнюю – зона индукции или зона несформированной волны; промежуточную, или интерференционную зону, и дальнюю, или зону сформированной волны. Размеры этих зон зависят от типов антенн, длины волн излучения, а также площади раскрытия апертуры антенны. Их можно определять из соотношений, приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Определение зон излучения от различных типов антенн.

Зоны излучения	Апертурные антенны		Ненаправленные (изотропные) антенны
	Для эллиптических и круглых апертур	Для прямоугольных типов апертур	
Ближняя, ($R_{б.з.}$, м)	$R_{б.з.} = L^2 / 4\lambda$	$R_{б.з.} = L_2 L_1 / 4\lambda$	$R_{б.з.} = \lambda / 2\pi$
Промежуточная, ($R_{п.з.}$, м)	Размер зоны $R_{п.з.} = R_{д.з.} - R_{б.з.}$		$R_{п.з.} = \lambda / \pi$
Дальняя, ($R_{д.з.}$, м)	$R_{д.з.} = L^2 / \lambda$	$R_{д.з.} = L_1 L_2 / \lambda$	$R_{д.з.} = 3\lambda / 2\pi$

Примечания: L – диаметр апертуры антенны, м;

L_1, L_2 – горизонтальный и вертикальный размеры раскрытия апертуры антенны, м;

λ – длина волны излучения, м.

В дальней зоне между E и H существует связь:

$$E \text{ (В/м)} = 120 \pi \times H \text{ (А/м)}.$$

Величина ППЭ определяется из соотношения:

$$\text{ППЭ (Вт/м}^2\text{)} = (E \text{ (В/м)})^2 / 120 \pi = (H \text{ (А/м)})^2 \times 120 \pi.$$

В случае необходимости проведения расчетов в разных зонах излучения для антенн диапазонов УВЧ-СВЧ, можно воспользо-

зоваться упрощенными методами, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 Упрощенный метод расчета поверхностной плотности потока электромагнитной энергии (ППЭ) от антенн УВЧ-СВЧ диапазонов в ближней, промежуточной и дальней зонах излучения.

Зоны излучения	По оси главного азимута излучения	По краю главного лепестка излучения
Ближняя	$\text{ППЭ} = 3P_{cp} / A$	$\text{ППЭ} = P_{cp} / 3A$
Промежуточная	$\text{ППЭ} = (3P_{cp} / A) \times (R_{б.з.} / R)^2$	–
Дальняя	$\text{ППЭ} = P_{cp} \times G / 4\pi R^2$	$\text{ППЭ} = (0,5 \times P_{cp} \times G) / 4\pi R^2$

Примечания: $ППЭ$ – плотность потока энергии, Вт/м²;

$P_{ср.}$ – средняя мощность станции, Вт;

A – площадь раскрытия антенны, м²;

R – расстояние от антенны до определяемой точки, м;

G – коэффициент усиления антенны, усл.ед. (в паспорте радиостанции).

Методы расчета напряженности ЭМП гектаметровых и декаметровых волн. Характер распределения электромагнитного поля вблизи антенны гектаметровых и декаметровых волн зависит от множества факторов: типа антенн, рабочих частот, уровня излучаемой мощности, поляризации излучаемого поля, электрофизических параметров почвы, рельефа местности, растительного покрова, характера и степени застройки и др. [1,2,3,4].

Учсть все эти факторы при расчетном прогнозировании уровней ЭМП гектаметровых и декаметровых волн с достаточ-

ной точностью, обычно, не представляется возможным, что может являться причиной расхождения результатов расчёта с данными измерений.

Расчет напряженности электрического поля производился следующим образом [1,2,3]:

– для радиопередающих средств (РПС), работающих на линиях дальней коротковолновой связи, при значениях высоты точки расчета h_1 , меньше или равной высоте фазового центра передающей антенны используется формула:

$$E = \frac{2180 \cdot \sqrt{P \cdot D \cdot \eta_{\text{АФС}}}}{R^2 \cdot \lambda \cdot \rho} \cdot h_1 \cdot H_{\text{ф.ч.}} \cdot F(\Delta) \cdot f(\varphi), B / м \quad (1)$$

– при значениях высоты точки расчета больше, чем высота фазового центра используется формула:

$$E = \frac{81.7 \cdot \sqrt{P \cdot D \cdot \eta_{\text{АФС}}}}{R} \cdot F(\Delta) \cdot f(\varphi), B / м \quad (2)$$

– для РПС, работающих только в приземном луче используется формула:

$$E = \frac{\sqrt{60PD \eta_{\text{АФТ}}}}{R} \cdot F1(\sigma) \cdot \cos(\Delta - \Delta_0), B / м \quad (3)$$

Множитель земли F , определялся по формуле:

$$F1(\sigma) = 1.41 \cdot \frac{2 + 0.3 \cdot x}{2 + x + 0.6 \cdot x^2}, 1 / м \quad (4)$$

где:

$$x = \frac{\pi \cdot R}{\lambda \cdot \rho} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon^2 + (60 \cdot \lambda \cdot \sigma)^2}}$$

Данные величины для различных типов почвы приведены в таблице 3.

Таблица 3. Значение электромагнитных параметров различных видов поверхности Земли.

Вид поверхности	Среднее значение	
	ε	σ , Ом/м
Морская вода	80	4
Пресная вода рек и озер	80	10^{-3}

Вид поверхности	Среднее значение	
	ε	σ , Ом/м
Влажная почва	10	10^{-2}
Сухая почва	4	10^{-3}
Леса	–	10^{-3}
Крупные города	–	$7,5 \times 10^{-4}$
Гористая местность	–	$7,5 \times 10^{-4}$

Коэффициент полезного действия антенно-фидерной системы ($\eta_{АФС}$) обычно принимается равным 0,5-0,7.

Высота расчетной точки (h_1) определяется по формуле:

$$h_1 = h_r + h_{вз} \quad (5)$$

В том случае, когда уровень поверхности земли превышал уровень антенны, ве-

личина (h_1) имеет знак плюс ($h \geq 0$), в противном случае со знаком минус ($h < 0$).

Горизонтальная дальность r , расстояние R и угол Δ определяется по формулам:

$$r = \sqrt{R^2 - (H_{ф.ц.} - h_1)^2} = \frac{H_{ф.ц.} - h_1}{\operatorname{tg}(\Delta)} = R \cdot \cos(\Delta), \text{ м} \quad (6)$$

$$R = \sqrt{r^2 - (H_{ф.ц.} - h_1)^2} = \frac{H_{ф.ц.} - h_1}{\sin(\Delta)} = \frac{r}{\cos(\Delta)}, \text{ м} \quad (7)$$

$$\Delta = \arcsin\left(\frac{H_{ф.ц.} - h_1}{\operatorname{tg}(\Delta)}\right) = \arccos\left(\frac{r}{R}\right) \quad (8)$$

Электромагнитное поле, индуцированное поверхностью земли, учитывается при расчетах по формуле:

$$E_{\text{сум}} = \sqrt{E^2 + E_{\perp}^2}, \text{ В/м;} \quad (9)$$

где, $E_{\text{сум}}$ – суммарная напряженность электрического поля;

E_{\perp} – напряженность индуцированного поля.

Для определения напряженности индуцированного электрического поля значение напряженности электрического поля E

основной поляризации, полученное из формулы (2;3,4), уменьшается:

– для горизонтальной поляризации в

$$K = \frac{\lambda \cdot \sigma}{\sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2}}, \text{ раз;} \quad (10)$$

– для вертикальной поляризации в

$$K_{\perp} = \frac{\sqrt{\varepsilon^2 + (60\lambda\sigma)^2}}{\sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + (60\lambda\sigma)^2}} \text{ раз.} \quad (11)$$

При использовании формулы (9) учитывалась координатная зависимость по формуле:

$$f(E(\varphi)) = f(E_{\perp}(90 - \varphi)) \quad (12)$$

С учетом формулы (12), формула (9) преобразована в

$$E_{\text{н.у.}} = \sqrt{E^2(\varphi) + \frac{E^2(90 - \varphi)}{K}} \quad (13)$$

Для РПС, работающих в средневолновом диапазоне радиочастот, используется формула:

$$E = \frac{7.75 \cdot \sqrt{P \cdot G \cdot \eta_{\text{АФ.}}}}{R} \cdot F(\Delta), \text{ e/}'' \quad (14)$$

Методы расчета напряженности ЭМП метровых волн. Для определения уровня напряженности электромагнитного поля или поверхностной плотности потока энергии, создаваемой радиостанциями телевизионного и УКВ-ЧМ вещания, используется расчетный метод [4]. Расчет производится

с помощью соотношений, соответствующих дальней зоне излучения электромагнитной [2] энергии.

Расчет уровня напряженности электромагнитного поля средств УКВ-ЧМ вещания производился по формуле:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G \cdot \eta \cdot F(\Theta) \cdot F(\varphi) \cdot K_3 \cdot K_{нд}}}{R} \quad (15)$$

Расчет уровня напряженности электромагнитного поля средств телевизионного вещания производился по формуле:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot (0,3 \cdot P_6 + P_3) \cdot G \cdot \eta \cdot F(\Theta) \cdot F(\varphi) \cdot K_3 \cdot K_{нд}}}{R} \quad (16)$$

где, R – наклонная дальность до расчетной точки, м;

P – максимально возможная мощность излучения, Вт;

P_6 – максимально возможная мощность излучения видео, Вт;

P_3 – максимально возможная мощность излучения звука, Вт;

$F(\Theta)$ – нормированная диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости;

$F(\varphi)$ – нормированная диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости;

K_3 – интерференционный множитель, учитывающий влияние Земли, принят нами равным 1.15 для условий городской застройки;

η – коэффициент затухания в системах антенно-фидерного тракта, минимальное измеренное значение 0,8-0,9;

φ – азимутальный угол, отсчитываемый от направления максимума излучения в горизонтальной плоскости;

$K_{нд}$ – коэффициент неравномерности диаграммы направленности в горизонтальной плоскости (равен 1 при G равному максимальному значению или 1,4 при нормированном коэффициенте усиления G в вертикальной плоскости);

G – максимальный (или нормированный в вертикальной плоскости) коэффициент усиления антенны (на нормали);

Δ – угол, образуемый линией горизонта, проведенной через центр излучения, и направлением на точку облучения (вниз – со знаком “+”, вверх – со знаком “-”),⁰.

Значение угла определяется по формуле:

$$\Delta = \arctg\left(\frac{h_a + \Delta h - H}{r}\right) \quad 17$$

или

$$\Delta = \arctg\left(\frac{h_a - \Delta h - H}{r}\right), \quad 18$$

где, 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.

$$R = \sqrt{r^2 + (h_a + \Delta h - H)^2}, \quad (19)$$

$$R = \sqrt{r^2 + (h_a - \Delta h - H)^2}. \quad (20)$$

При условии ровной местности в расчётных значениях принимается $\Delta h = 0$, а $h_a - H$ – относительная разность высот.

Для пересчёта значения усиления антенны (дБ) в соответствующий коэффициент использовалось уравнение:

$$G = 10^{0.1G(\text{дБ})}. \quad (21)$$

Расчетные методы определения ЭМП, создаваемого базовыми и радиорелейными станциями мобильной связи (диапазоны УВЧ и СВЧ). Определение уровня напряженности электромагнитного поля или поверхностной плотности потока энергии, создаваемой базовыми и радиоре-

лейными станциями [3] мобильной связи производится с помощью соотношений, соответствующих дальней зоне излучения (Долуханов, 1972) электромагнитной энергии. Удаление границы дальней зоны от источника излучения определялось по формуле:

$$R_d = \frac{L_a \cdot L_a}{\lambda}, \quad (22)$$

где, L_a – размер (апертура) антенны;

λ – длина волны.

Расчет уровня напряженности электромагнитного поля производится по формуле:

$$E(R) = \frac{\sqrt{30PGF^2(\Theta)F^2(\varphi)}}{R} \eta K_3 \quad (23)$$

Расчет уровня поверхностной плотности потока энергии производится по формуле:

$$ППЭ(R) = ППЭ_0(R) \cdot F^2(\Theta) \cdot F^2(\varphi) \cdot K_3 \quad (24)$$

где, R – наклонная дальность до расчетной точки, м;

P – максимально возможная мощность излучения, Вт;

$ППЭ(R)$ – поверхностная плотность потока энергии в максиме излучения, мкВт/см²;

$F^2(\Theta)$ – нормированная диаграмма направленности антенны в вертикальной плоскости;

$F^2(\varphi)$ – нормированная диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости;

K_3 – множитель, учитывающий влияние Земли, принят нами равным 1,3;

η – коефіцієнт затухання в системах антенно-фідерного тракта;

φ – азимутальний угол, отсчитываемый от направления максимума излучения в горизонтальной плоскости;

Значение ППЭ₀(R) определялось с помощью формул:

$$\text{ППЭ}_0(R) = \frac{8P_{\text{макс.изл.}} \times G}{R^2}, \quad (25)$$

где, $P_{\text{макс.изл.}}$ – максимально возможная мощность, Вт;
 G – коэффициент усиления антенны (на нормали).

$$R = \sqrt{r^2 + (h_a + \Delta h - H)^2}, \quad (26)$$

$$R = \sqrt{r^2 + (h_a - \Delta h - H)^2}. \quad (27)$$

При условии ровной местности в расчетных значениях принимается $\Delta h = 0$, а $h_a - H =$ относительная разность высот.

Методы измерений уровней электромагнитного поля. Согласно «Санитарным нормам и правилам ...» [5], измерения уровней электромагнитного излучения (ЭМИ) проводятся не реже одного раза в год, а также при вводе в действие новых установок при внесении изменений в их конструкцию, при изменении режима излучения, после проведения ремонтных работ, сопровождающихся изменением излучаемой мощности, и при внесении изменений в средства защиты от воздействия ЭМИ. В каждой точке проводится не менее трех измерений с занесением в протокол наибольшего из зарегистрированных значений.

Уровни ЭМИ от вращающихся и сканирующих антенн измеряются при остановленной антенне в направлении максимума излучения при всех рабочих значениях угла наклона антенны. Для открытой местности с однородным рельефом результаты, полученные при одном направлении излучения, распространяются на весь сектор, охватываемый антенной при ее движении, в радиусе, на котором производились измерения. В случаях, характеризующихся неоднородным рельефом местности, наличием зданий и других сооружений, необходимо проводить

измерения на каждом конкретном месте при направлении излучения в место измерения.

На открытой территории измерения проводят на высоте 2 м от поверхности земли, далее на высоте 3, 6, 9 м и т.д. в зависимости от этажности застройки.

Единицы измерения. Электромагнитные излучения характеризуются тремя основными параметрами: напряженностью электрического поля (E), напряженностью магнитного поля (H) и плотностью потока энергии (ППЭ). В диапазоне радиочастот менее 300 МГц (по рекомендации Международной организации IRPA / INIRC (Международный комитет по неионизирующим излучениям / Международная ассоциация по радиационной защите) – менее 10 МГц) интенсивность излучения выражается напряженностью электрической и магнитной составляющих и определяется соответственно в вольтах на метр (В/м) (или киловольтах на метр, кВ/м ($1 \text{ кВ/м} = 10^3 \text{ В/м}$) и амперах на метр (А/м). В диапазонах выше 300 МГц, интенсивность, или ППЭ, выражается в ваттах на метр квадратный (Вт/м^2 ; $1 \text{ Вт/м}^2 = 0,1 \text{ мВт/см}^2 = 100 \text{ мкВт/см}^2$).

Единицей индукции (B) МП является тесла (Тл). Единицей напряженности (H) МП является ампер на метр (А/м). Напряженность и индукция МП связаны соотношением:

$$B = \mu \mu_0 H, \quad (28)$$

где, μ_0 – магнитная постоянная, равная $4 \times 10^{-7} \text{ Гс/м}$;

μ – относительная магнитная проницаемость веществ, $1 \text{ Тл} = 7,965 \text{ А/м}$;

$$1 \text{ А/м} = 1,256 \times 10^{-6} \text{ Тл.}$$

Существует еще и внесистемная единица магнитной индукции – гаусс (Гс): $1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Тл}$; напряженность МП – эрстед (Э): $1 \text{ Э} = 79,58 \text{ А/м}$. В воздушной среде $1 \text{ Гс} = 1 \text{ Э}$.

Кроме перечисленных единиц, применяется термин «гамма», обозначающий величину, которая равна 1 нТл.

Магнитная индукция и магнитное поле часто употребляются как синонимы. Во многих случаях легко переходить от магнит-

ной индукции к магнитному полю и наоборот. Магнитное поле H описывает область, произведенную только свободным потоком, магнитная индукция B описывает область, произведенную потоком энергии плюс эффект намагничивания материала. Материалы могут уменьшить или увеличить магнитную индукцию. Их тогда называют парамагнитными или диамагнитными материалами.

Таблица 5. Единицы измерения величины магнитного поля.

Система Единицы	Магнитная индукция, В	Напряженность магнитного поля, Н
Единицы СИ	Тесла: $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Vs/Am}^2$	А/м
Единицы СГС	Гаусс: $1 \text{ Гс} = 10^{-4} \text{ Т}$	Эрстед: $1 \text{ Э} = 79,5775 \text{ А/м}$

Таблица 6. Преобразования единиц магнитного поля.

Единицы измерения	mT (Тесла)	Гс (Гаусс)	kA/м	Э (Эрстед)	гамма
1 mT	= 1.0000	= 10.000	= 0.7958*	= 10.000*	= 10^6
1 Гс	= 0.1000	= 1.0000	= 0.0796*	= 1.0000*	= 10^5
1 kA/м	= 1.2560*	= 12.560*	= 1.0000	= 12.560	= $1.2560 \cdot 10^6$
1 Э (Эрстед)	= 0.1000*	= 1.0000*	= 0.0796	= 1.0000	= 10^5

Примечание. * – в свободном воздухе.

Для измерения уровней электромагнитного поля применяют разные измери-

тельные приборы, характеристики которых представлены в таблице 7.

Таблица 7. Приборы для измерения уровней электромагнитного поля.

Наименование измерительного прибора, страна – производитель	Основные технические характеристики
<i>МТМ-01</i> измеритель постоянного магнитного поля, <i>Россия</i>	<p>Диапазон измерения напряженности магнитного поля от 0,5 до 200 А/м.</p> <p>Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения напряженности магнитного поля:</p> <ul style="list-style-type: none"> – в поддиапазоне от 0,5 до 3 А/м – $\pm 20\%$; – в поддиапазоне от 3 до 200 А/м – $\pm 10\%$.
<i>ВЕ-МЕТР-АТ-003</i> измеритель параметров электромагнитного поля трехкомпонентный, <i>Россия</i>	<p>Диапазон частот: от 5 Гц до 400 кГц.</p> <p>Диапазон измерений среднеквадратических значений напряженности электрического поля: от 0,5 В/м до 1000 В/м.</p> <p>Диапазон измерений среднеквадратических значений напряженности магнитного поля (магнитной индукции): от 5 нТл до 10 мкТл.</p>

Наименование измерительного прибора, страна – производитель	Основные технические характеристики
<i>BE-50</i> измеритель электромагнитного поля промышленной частоты, <i>Россия</i>	Диапазон частот: от 49 до 51 Гц. Диапазон измеряемых эффективных значений: индукции линейно поляризованного магнитного поля: от 0,01 до 5 мТл; индукции эллиптически поляризованного магнитного поля: от 0,01 до 1 мТл; напряженности электрического поля: от 0,05 до 50 кВ/м.
<i>ПЗ-41</i> измеритель уровней электромагнитных излучений, <i>Россия</i>	Рабочий диапазон частот 0,00003–40 ГГц Пределы измерения плотности потока энергии 0,26–600000 мкВт/см ²
<i>АТТ-2593</i> измеритель уровней электромагнитных излучений, <i>Китай</i>	Диапазон частот 10 МГц...8 ГГц Диапазон измерений: – напряженности электрического поля 20 мВ/м...108 В/м (разрешением 0,1 мВ/м); – напряженности магнитного поля 53 мкА/м...286,4 мА/м (разрешением 0,1 мкА/м); – плотности потока энергии 1 мкВт/м ² ...30,93 Вт/м ² (разрешение 0,1 мкВт/м ²) 0,01 мкВт/см ² ...3,093 мВт/см ² (разрешение 0,001 мкВт/см ²)
<i>Narda NBM-550</i> широкополосный измеритель напряженности электрического и магнитного поля, <i>США</i>	Рабочий диапазон частот от 100 кГц до 60 ГГц Пределы измерения плотности потока энергии 0,027 нВт/см ² – 2,653 кВт/см ²
<i>Narda SRM-3000 (SRM-3006)</i> селективный измеритель уровней электромагнитных излучений, <i>США</i>	Диапазон частот 100 кГц – 3 ГГц. Диапазон измерений среднеквадратических значений напряженности электрического поля: от 125 мкВ/м до 200 В/м.

Методы моделирования электромагнитного поля в условиях медико-биолого-гигиенического эксперимента.

При решении вопросов касающихся гигиенической регламентации электромагнитных полей в окружающей среде, необходимым условием является моделирования влияния этого фактора на организм в эксперименте. Принципы, которые заложены в качестве научной основы для создания, как самой гипотетической модели влияния электромагнитного поля, так и ее последующей реализации, могут быть сформулированы в следующем виде:

- 1) Динамический диапазон изменения интенсивности действующего фактора в эксперименте должен отвечать условиям его распределения в окружающей среде.
- 2) Физические характеристики ЭМП (структура, поляризация, и модуляция, частота и спектр сигнала) в эксперименте должны

- быть максимально приближенные к условиям влияния этого фактора на население.
- 3) Временные характеристики модели (время облучения и его периодичность) должны определяться параметрами реального влияния электромагнитного поля на население.
- 4) Модель должна быть устойчива к воздействию сторонних факторов.

Руководствуясь перечисленным, задача наших исследований заключались в разработке корректной физической модели влияния на подопытных животных электромагнитных полей, которые создаются различными радиотехническими средствами.

В качестве примера в настоящей работе рассматривается модель, использованная при изучении влияния на организм животных электромагнитного поля, которое создаваемого радиотелефонами сотовой мобильной связи стандарта GSM-900 и стандарта DCS-1800.

Для решения поставленной задачи был исследован характер распределения электромагнитного излучения от радиотелефонов сотовой связи стандарта GSM-900 и DCS-1800, а также был апробирован ряд облучающих систем.

Анализ результатов этих исследований показал, что при разработке для населения гигиенических нормативов электромагнитных полей, следует использовать модели, позволяющие вести облучение подопытных животных в поле плоской электромагнитной волны, характерной для реальных условий ее влияния на человека. В диапазоне УВЧ целесообразно применять согласованные линии передачи электромагнитной энергии.

Решение выше перечисленных требований относительно принципов 1 и 2 должно достигаться применением генераторных устройств, являющихся аналогами промышленных образцов, которые соответствуют реальным радиотехническим источникам электромагнитного излучения.

Для постановки биолого-гигиенического эксперимента нами была избрана облучающая система на основе линии передачи электромагнитной энергии. При этом следует отметить, что линии передачи подразделяются на две категории: устройства с поперечными электромагнитными волнами и устройства в виде волноводов. В волноводах распределение поперечных волн невозможно. Конфигурация действующего поля в волноводах более сложная, чем в случае плоской волны. В линии с поперечными волнами, к которым относятся коаксиальные воздушные линии передачи и линии с параллельно расположенными пластинами (полосковые линии), преобладающей модой является ТЕМ-волна при условии, что сопротивление нагрузки отвечает собственному сопротивлению линии. В коаксиальных воздушных линиях, вследствие их круглого поперечного сечения, могут облучаться жидкостные и небольшие за размером твердые объекты. Для облучения животных больше подходят устройства, которые состоят из двух или нескольких пластин, поскольку они образуют прямоугольный объем, удобный для размещения подопытных животных.

При работе в режиме ТЕМ-волны в линии передачи создается практически однородное поле.

Погрешность его распределения, которая определяется путем измерения уровней ЭМП, в ТЕМ-камере, согласно требованиям биологических исследований, должна находиться в пределах от 0,5 до 3 дБ.

Учитывая последнее нами были проведены исследования распределения электрического поля в пустых и загруженных ТЕМ-камерах. Измерения ЭМП проводились измерителем ПЗ-30, в качестве индикатора направления поля использовался измеритель NFM-1. Результаты этих исследований показали, что напряженность поля внутри камеры в зависимости от положения зонда измерителя изменялась по всем направлениям трехмерной системы координат. Электрическое поле (E) имело чисто вертикальную поляризацию близ центра камеры и постепенно изменялось на горизонтальную поляризацию при перемещении зонда измерителя в горизонтальном направлении к боковым стенкам. В каждой точке измерялась как вертикальная E_y , так и горизонтальная E_x составляющая электрического поля. Распределение E-поля исследовалось в квадратной и прямоугольной ТЕМ-камерах. Электрическое поле в исследованных областях было поляризовано вертикально, или $E_y \gg E_x$. Относительное распределение поля не зависело от мощности, которая подводилась к камере и от частоты до тех пор, пока рабочая частота была меньше критической частоты поперечного электрического колебания первого порядка.

Результаты исследований также показали, что колебание напряженности электрического поля в пустой прямоугольной камере были меньше 2 дБ, а в квадратной 3 дБ. В загруженной облучающей системе, неравномерность поля повышалась пропорционально занятой части сечения камеры. Если объект, который облучался, занимал небольшую часть камеры (не более одной пятой поперечного сечения), то существенная неравномерность не регистрировалась.

Считают, что для основного типа волны в полосковой линии передачи структура поля в поперечном сечении идентичная структуре поля плоского конденсатора. Учитывая это, нами были проведенные экспери-

ментальные исследования структуры поля плоскопараллельного конденсатора, одна из пластин которого была заземлена. Измерения напряженности поля, как и раньше, осуществлялись измерителем ПЗ-30, при питании конденсатора от стандартного генератора сигналов в диапазоне частот 800-960 МГц.

В результате анализа экспериментальных исследований установлены, что неравномерность поля в зоне облучения камеры, размеры которой составляли $1,3 \times 0,7 \times$

0,3 м не превышала 20% как в пустой, так и загруженной.

На основе выше приведенных теоретических материалов исследований нами для проведения экспериментальных биолого-гигиенических исследований влияния на организм электромагнитного поля частотой 900 МГц была разработана и использована облучающая система ОС-900, которая представлена на рис. 1.

Рисунок 1. Блок-схема облучающей системы.

В состав этой системы входят: радиопередатчик стандарта GSM-900 (репитер базовой станции типа RBS-2001); контроллер и регулятор (генератор случайного прерывистого сигнала (имитатор времени телефонных разговоров); источник звукового сигнала с ограниченным диапазоном частот (300-3000 Гц)); облучающая система в виде трех полосковых экранированных линий передачи; эквивалент нагрузки типа ЭВ-2-0,1-50 Ом; экранированная фидерная система СЭФ-50 для соединения передатчика с облучающей системой.

Конструкция облучающей системы представляет собой каркас из двух усеченных четырехгранных пирамид, соединенных между собой прямоугольным параллелепипедом, в котором находится рабочая зона.

Полосковая линия передачи выполнена из трех частей. Каждая часть представляет собой раму, выполненную из дюралюминиевого профиля. Линия передачи закреплена на каркасе диэлектрическими изоляторами.

Вся облучающая система выполнена с применением дюралюминиевых листов и

полутомпаковой сетки, которая обеспечивает освещение рабочей зоны облучения. Часть боковой грани пирамиды также выполнена с применением полутомпаковой сетки с таким расчетом, чтобы обеспечить необходимую вентиляцию облучающей системы.

Основными контролируемыми параметрами облучающей системы являются:

- мощность передатчика, Вт;
- коэффициент бегущей волны (КБВ) на входе и выходе облучающей системы;
- плотность потока ЭМП в рабочей зоне облучающей системы, $\text{мкВт}/\text{см}^2$;
- неравномерность плотности потока ЭМП в зоне размещения животных, $\text{мкВт}/\text{см}^2$;
- плотность потока ЭМП в помещении, где установлена облучающая система, $\text{мкВт}/\text{см}^2$.

Для контроля этих параметров использовались следующие приборы:

- направленные ответвители – 3 шт. (коэффициент ослабления 0,3 и 6 дБ);
- измеритель плотности потока электромагнитного поля типа ПЗ-30.

Выводы

Таким образом, изложенные выше методические подходы позволяют с необходимой для гигиенической практики точностью:

1. Определять расчётными и инструментальными методами прогнозируемые и существующие уровни электромагнитного поля, которые создаются радиотехническими объектами.
2. Решать практические вопросы относительно размещения и эксплуатации радиотехнических объектов в плане населённых мест, а так же жилой, общественной и другой застройки, которую намечается разместить или реконструировать в местах действующих радиотехнических объектов.
3. Моделировать воздействие электромагнитного поля в условиях биолого-гигиенического эксперимента, основной целью которого является установления характера влияния на организм данного фактора и его гигиеническое нормирование в окружающей среде для обеспечения безопасных для здоровья населения условий размещения и эксплуатации выше обозначенных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Г.З. Коротковолновые антенны. – М.: Связь, 1986. – 536 с.
2. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. – М.: Связь, 1972. – 336 с.
3. Методические указания по определению и гигиенической регламентации электромагнитных полей, создаваемых береговыми и судовыми радиолокационными станциями. №4258-87 от 02.03.87. – М.: МЗ СССР, 1987. – 31 с.
4. Методические указания по определению уровней электромагнитного поля и границ санитарно-защитной зоны и зоны ограничения застройки в местах размещения средств телевидения и ЧМ-радиовещания. – М.: МЗ СССР, 1985.
5. Методические указания по определению уровней электромагнитного поля средств управления воздушным движением гражданской авиации ВЧ-, ОВЧ-, УВЧ- и СВЧ-диапазонов, – М.: МЗ СССР, 1988.
6. «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань» ДСНіП №239-96. – К.: МОЗ України, 1996.
7. Державні санітарні норми і правила при виконанні робіт в не вимкнених електроустановках напругою 750 кВ включно”, №198-97. – К.: МОЗ України, 1997.
8. Контроль и нормализация электромагнитной обстановки, создаваемой метеорологическими радиолокаторами. Методические указания. – Л.: Гидрометиздат, 1990. – УДК 551.501.81. – 63 с.

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ГІГІЄНИЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

*Біткін С.В., Думанський В.Ю., Сердюк Є.А., Павлик В.М., Галак С.С.,
Медведев С.В., Зотов С.В., Безверха А.П., Безденежних Є.С., Прусов Д.Э.*

Перша частина роботи присвячена науковому обґрунтуванню та удосконаленню методики визначення у навколишньому середовищі електромагнітних полів, що створюються радіо-, телевізійними, радіолокаційними станціями. В ній наведені методи розрахунку рівнів електромагнітного поля гектаметрових, декаметрових та метрових хвиль. Окремо обговорено метод розрахунку рівнів ЕМП, що створюється базовими та радіорелейними станціями стільникового мобільного зв'язку. Описується метод вимірів рівнів ЕМП. Наведені одиниці вимірів ЕМП по кожному діапазону частот, значна увага приділена магнітному полю. В роботі надається перелік сучасних приладів для вимірів електричного та магнітного поля.

Друга частина робота присвячена методиці моделювання ЕМП в умовах біолого-гігієнічного експерименту. Наведені принципи, які закладені в якості наукової основи для створення гіпотетичної моделі та її реалізації при створенні опромінюючої системи для

біолого-гігієнічних досліджень впливу ЕМП на піддослідних тварин. В цій частині роботи надається наукове обґрунтування опромінюючої системи, яка була використана при розробці гігієнічних нормативів.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE IDENTIFICATION AND MODELING OF ELECTROMAGNETIC RADIATION WITH HYGIENIC STUDIES

*S.V. Bitkin, V.Yu. Dumansky, E.S. Serdyuk, S.S. Galack,
S.V. Medvedev, S.V. Zotov, A.P. Bezverkha, E.S. Bezdeneznih, D.E. Prusov*

Article generalized experience of solving sanitary control of electromagnetic fields in populated places. Methodical approaches to how accounting forecasting levels of electromagnetic radiation of various ranges of frequency spectrum and methods of their instrumental monitoring. Shows the main types of measuring instruments for monitoring the levels of electromagnetic radiation and their characteristics. Modeling methods of electromagnetic fields are considered in the context of a bio-hygienic experiment.

УДК 613.5:613.644: 728.22

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АКУСТИЧНОГО СТАНУ ТИПОВИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ (ЗА АНАЛІЗОМ ВНУТРІШНІХ ДЖЕРЕЛ ШУМУ)

Шумак О.В.

*Державна установа „Інститут гігієни та медичної екології
ім. О.М. Марзєєва НАМН України”, м. Київ*

Актуальність проблеми. Останнім часом в Україні стрімко розвивається напрямок будівництва багатофункційних споруд підвищеної поверховості, які мають цілий ряд принципових відмінностей від типових житлових будинків. На даний час Держбудом України дозволено зведення більше 50-ти висотних багатофункційних споруд різного призначення – готельних, офісних [1], в т.ч. 11 експериментальних житлових будинків вище 75 м [2]. Характерною відмінністю їх є багатофункційність, яка полягає у комбінованому поєднанні житлових приміщень і вбудованих та прибудованих об'єктів громадського призначення (магазини, спортивні клуби, розважальні заклади, перукарні, малі підприємства, підземні паркінги й офіси фірм різних напрямків діяльності) [3]. Забезпечення максимальним рівнем комфорту житла здійснюється за рахунок насичення споруд великою кількістю сучасного інженерно-технічного устаткування з цілодобовим режимом роботи та високим

рівнем автоматизації. Додатково для рівномірного тепло-, водо- та енергозабезпечення споруджуються проміжні технічні поверхи [4,5]. Функціонування таких комплексів може істотно позначатись на акустичному комфорті житлової зони будинку, оскільки будь-яке інженерно-технічне обладнання є джерелом як постійного, так і непостійного шуму різних рівнів. При цьому, в нічний час знижується енергетичний внесок джерел зовнішнього шуму у формування акустичного стану приміщень, що посилює вираженість фактору внутрішнього шуму, особливо на верхніх поверхах будинку [6]. На стадії проектування високоповерхових будинків всі технічні умови підлягають санітарно-епідеміологічній експертизі на відповідність вимогам діючого санітарного законодавства України, в т.ч. і в частині, що стосується акустичного навантаження [4,7,8,9].

З іншого боку, існує певна тенденція до реконструкції типових будинків, в яких поступово нижні поверхи, що були призна-