

УДК 539.421:620.179.17

**З. Матоушек**, к.т.н., доц.  
**Й. Якуб**, к.т.н., доц.  
**М. Шостронек**, к.т.н.

## УРОВЕНЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ

*Выполнен анализ измерений электромагнитного излучения мобильных телефонов с помощью математического аппарата. Рассмотрено влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов на организм человека.*

*Виконано аналіз вимірювань електромагнітного проміння мобільних телефонів за допомогою математичного апарата. Розглянуто вплив електромагнітного проміння мобільних телефонів на організм людини.*

*Mathematical approach for analysis of measurement of electromagnetic fields from mobile telephones and its influence on human body is considered in the article.*

**влияние излучения на организм, мобильная телефонная связь, электромагнитное поле**

### Введение

Массовое внедрение мобильной телефонной связи началось в 1973 г., когда в США был осуществлен первый телефонный разговор по мобильному телефону (МТ). Это обстоятельство привело к постепенному возведению ячеистой структуры мобильных сетей. Ее основу представляли базовые станции, благодаря которым осуществляется мобильная коммуникация [1–3].

Последовательное развитие прогрессивных технологий и их успешное внедрение в новые коммуникационные системы привело к распространению МТ в повседневную жизнь миллионов людей.

В начале 90-х годов XX века была создана мобильная цифровая связь GSM (Global System for Mobile Communications). В настоящее время в рамках мобильных цифровых связей применяются два частотных диапазона: 900 MHz и 1800 MHz (рис. 1).

### Параметры электромагнитного излучения мобильных телефонов

Массовое использование МТ в повседневной жизни людей связано с их непосредственным влиянием на организм человека.

Самую большую опасность негативного влияния МТ на здоровье людей представляет излучение электромагнитных волн во время осуществления связи.

Классическое использование МТ ведет к проникновению электромагнитной энергии в голову.

Основным параметром, с помощью которого оценивается уровень излучения электромагнитного поля в МТ, является удельная степень поглощения SAR (Specific Absorption Rate) – составляющая Европейского стандарта ENV 50166-2:

$$SAR = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{dW}{\rho dV}.$$

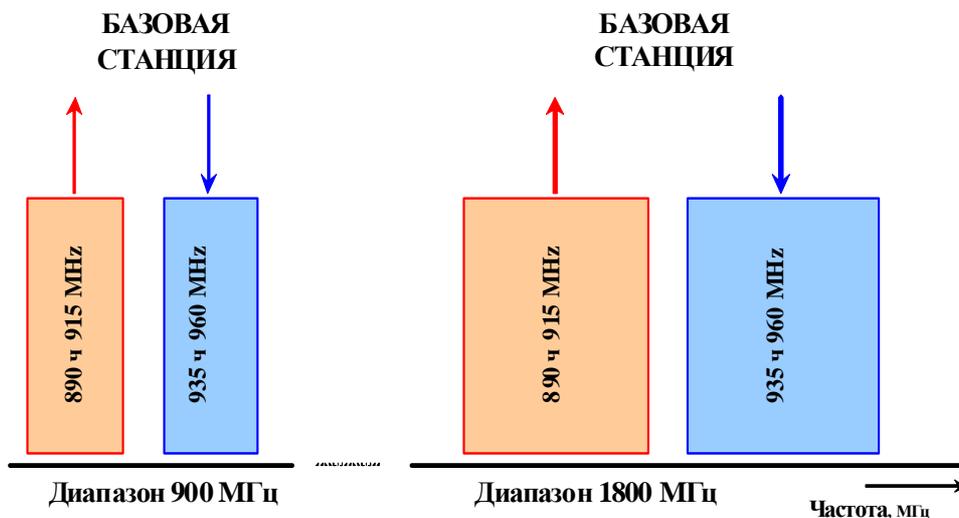


Рис. 1. Принцип коммуникации МТ в сети GSM

Стандартом ENV 50166-2 для электронных оборудований уровень SAR определяется в частном диапазоне от 10 кГц до 300 ГГц. Максимальный уровень SAR равен 2 Вт/кг, причем все значения отдельных уровней должны быть усреднены в шестиминутном промежутке времени, в течение которого абонент подвержен действию электромагнитного поля.

Уровень SAR самых распространенных типов МТ в Европе за 2008 г. составляет:

Apple iPhone – 0,974 Вт/кг;

HTC Touch – Diamond 1,33 Вт/кг;

Nokia E51 – 0,622 Вт/кг;

Nokia 6300 – 0,57 Вт/кг;

Nokia 3109 – 1,13 Вт/кг;

LG KU990 – 0,83 Вт/кг;

Nokia N95 – 0,38 Вт/кг;

Sony Ericsson K-810 – 0,61 Вт/кг;

Sony Ericsson K-530 – 1,12 Вт/кг;

Sony Ericsson W-890i – 1,38 Вт/кг.

Средний уровень SAR равен 0,895 Вт/кг.

В процессе эксплуатации не менее важным фактом является глубина проникновения электромагнитной энергии в голову абонента [4]. Ее можно определить из соотношения

$$d = \frac{1}{\omega \sqrt{\frac{\epsilon_H \mu_0}{2}} \sqrt{\left[ \sqrt{1 + \left( \frac{\sigma_H}{\epsilon_H \omega} \right)^2} - 1 \right]}}$$

где

$\omega$  – угловая частота несущей излучаемой электромагнитной энергии, Гц;

$$\omega = 2\pi f$$

$\epsilon_H$  – диэлектрическая проницаемость ткани головы, ф/м;

$$\epsilon_H = \epsilon_0 \epsilon_r = 8,854 \cdot 10^{-12} \epsilon_r;$$

$\sigma_H$  – проводимость ткани головы, См/м;

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$  – магнитная проницаемость вакуума, Гн/м.

Диэлектрическая проницаемость ткани головы для частоты 900 МГц составляет 41,5 Ф/м, для частоты 1800 МГц  $\epsilon_r = 40,0$  Ф/м.

Проводимость ткани головы для частоты 900 МГц  $\sigma_H$  составляет 0,97 См/м, для частоты 1800 МГц  $\sigma_H = 1,40$  См/м.

Для измерения излучения электромагнитного поля необходимо знать следующие параметры:

– напряженность электрического поля  $E$ ;

– магнитную индукцию;

– плотность потока мощности эквивалентной плоской волны  $S_{eq}$ .

Предельно допустимое значение напряженности электрического поля  $E$  в частотном диапазоне от 400 до 2000 МГц можно определить по формуле [6]:

$$E_A = 1,375 \sqrt{f},$$

где

$f$  – частота несущей излучаемой электромагнитной энергии, МГц.

Напряженность магнитного поля  $H$  в диапазоне 400 – 2000 МГц можно определить по формуле

$$H_A = 0,0037 \sqrt{f}.$$

Предельно допустимое значение магнитной индукции для диапазона частот в пределах от 400 до 2000 МГц вычисляются из соотношения [6]:

$$B_A = 0,0046 \sqrt{f}.$$

Предельно допустимое значение плотности потока мощности эквивалентной плоской волны  $S_{eq}$  в частотном диапазоне от 400 до 2000 МГц можно определить по формуле [6]:

$$S_{Aeq} = \frac{f}{200}.$$

Расчетные данные указанных параметров приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные параметры электромагнитного поля

Параметр	Частота, МГц	
	900	1800
$d$ , см	3,62	2,43
$E_A$ , В/м	41,25	38,33
$H_A$ , А/м	0,11	0,157
$B_A$ , мкТ	0,138	0,195
$S_{Aeq}$ , Вт/м <sup>2</sup>	4,5	9,0

#### Удельная поглощаемость и напряженность электрического поля мобильных телефонов

Все изготовители МТ должны соблюдать требования Европейского стандарта ENV 50166-2, в котором установлен максимальный уровень SAR 2 Вт/кг при максимально излучаемой мощности МТ. Применяя напряженность электрического поля  $E$  при частоте несущей волны излучаемой электромагнитной энергии  $f > 10$  МГц можно определить SAR:

$$SAR = E^2 \frac{\sigma}{\rho},$$

где

$\sigma$  – проводимость среды, в которой распространяются электромагнитные волны, См/м;

$\rho$  – удельная плотность среды, кг/м<sup>3</sup>.

Напряженность электрического поля  $E$  на данном уровне SAR можно определить по формуле [7]:

$$E = \sqrt{\text{SAR} \frac{\rho}{\sigma}}$$

При телефонном разговоре МТ находится возле головы, поэтому необходимо определить проводимость среды  $\sigma$  и удельную плотность среды  $\rho$  для ткани головы.

Для соответствующих частотных диапазонов в сети GSM их значения равны [4]:

– для частотного диапазона 900 МГц  $\sigma = 0,97$  См/м;

– для частотного диапазона 1800 МГц  $\sigma = 1,40$  См/м;

– удельная плотность среды  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

График напряженности электрического поля  $E$  в зависимости от уровня SAR показан на рис. 2.

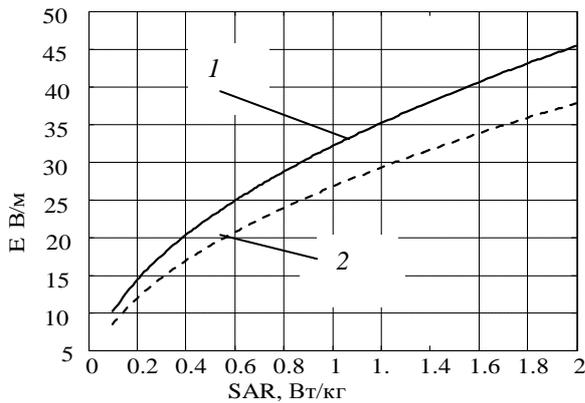


Рис. 2. Зависимость напряженности электрического поля  $E$  от уровня SAR:

1 – 900 МГц;  
2 – 1800 МГц

На основе расчетных данных напряженности электрического поля  $E$  и предельных значений напряженности электрического поля  $E_A$  можно определить максимальную экспозиционную дозу:

$$T_{EXP} = \frac{6E_A}{E}$$

Максимальная экспозиционная доза  $T_{EXP}$  представляет собой предельное время, при котором во время телефонного звонка не будет превышен предельный лимит экспозиционной дозы. Результаты вычисления напряженности электрического поля  $E$  и максимальной экспозиционной дозы  $T_{EXP}$  для выбранных уровней SAR приведены в табл. 2.

Графическое выражение зависимости экспозиционной дозы  $T_{EXP}$  от напряженности электрического поля  $E$  вычисленной из  $\text{SAR} \in \langle 0,1 \div 2,0 \rangle$  показано на рис. 3.

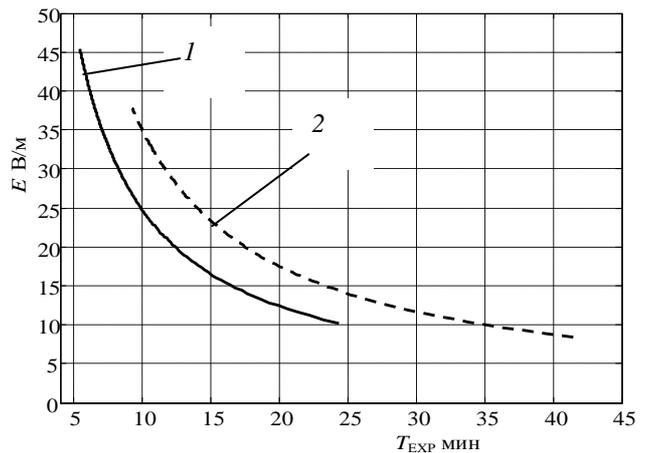


Рис. 3. Зависимости экспозиционной дозы  $T_{EXP}$  от напряженности электрического поля  $E$ :

1 – 900 МГц;  
2 – 1800 МГц

Таблица 2

**Напряженность электрического поля  $E$  и максимальная экспозиционная доза  $T_{EXP}$**

Величина	Уровень SAR [W/kg]										
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Диапазон 900 МГц ( $E_A = 41,25$ В/м)											
$E$ В/м	10,15	17,59	22,70	26,86	30,46	32,11	35,17	37,99	40,61	43,08	45,41
$T_{EXP}$ , мин	24,38	14,07	10,90	9,21	8,12	7,71	7,04	6,52	6,09	5,75	5,45
Диапазон 1800 МГц ( $E_A = 58,33$ В/м)											
$E$ В/м	8,45	14,64	18,90	22,36	25,36	26,73	29,28	31,62	33,81	35,86	37,80
$T_{EXP}$ , мин	41,41	23,91	18,52	15,65	13,80	13,10	11,95	11,07	10,35	9,76	9,26

Аналогичным образом можно определить экспозиционную дозу  $T_{\text{EXP}}$  и для соответствующих уровней SAR. График зависимости экспозиционной дозы  $T_{\text{EXP}}$  от удельной поглощаемости SAR  $\in (0,1 \div 2,0)$  показан на рис. 4.

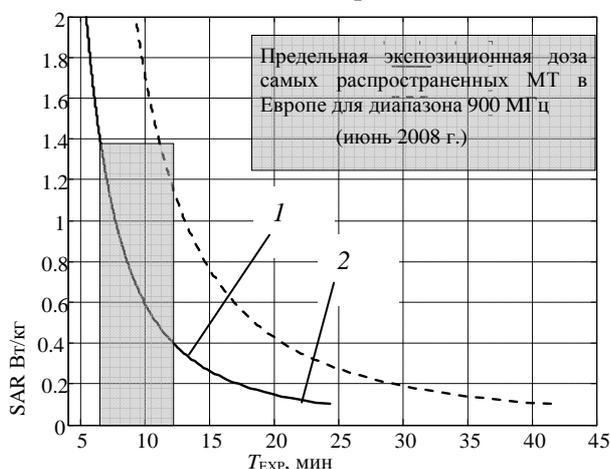


Рис. 4. Зависимости экспозиционной дозы  $T_{\text{EXP}}$  от удельной поглощаемости SAR  $\in (0,1 \div 2,0)$ :

1 – 900 МГц;  
2 – 1800 МГц

### Влияние излучения мобильного телефона на человека

Результаты многолетних исследований воздействия электромагнитного излучения на живые организмы указывают на определенную опасность для здоровья при частом использовании МТ.

К числу клинических симптомов можно, в частности, отнести [7; 8]:

- ощущение тепла в области уха;
- утомляемость;
- головную боль;
- туманное видение.

Исходя из изложенного, при использовании МТ рекомендуем соблюдать следующие меры предосторожности:

- минимализировать продолжительность разговоров;
- при длительном разговоре менять место расположения МТ: с левой стороны перенести на правую и наоборот;
- по мере возможности применять так называемый «hand free set»;
- использовать МТ с низкой величиной SAR;

– по возможности минимализировать применение МТ в помещениях со слабым сигналом (лифт, автомобиль и т.п.), что приводит к адаптивному повышению уровня излучения мощности  $P_V$ ;

– минимализировать использование МТ детям, беременным женщинам и людям с кардиостимулятором.

### Заключение

На основе проведенных измерений электромагнитного излучения у наиболее распространенных типов МТ (статистические данные за июнь 2008 г.) вытекает, что все исследуемые МТ с точки зрения уровня SAR удовлетворяют Европейскому стандарту ENV 50166-2, но при телефонном разговоре в области с низким уровнем сигнала от базовых станций после 6–12 мин будет превышен допустимый уровень облучения электромагнитным полем. При продолжительных телефонных переговорах (длительностью более 10 мин) может проявиться негативное влияние электромагнитного излучения МТ на организм человека, прежде всего, на область головы.

### Литература

1. Olbert M. Mobilná komunikácia: Referát. – Banská Bystrica, 2005 // <http://www.tahaky-referaty.sk/SAR---vyzarovanie-mobilnych-telefonov/1511/&i9>
2. Dobos L. Mobilné rádiové siete / L. Dobos: Žilinská univerzita, Žilina, 2002. 312 s. – ISBN 80-7100-936-9.
3. Celenec: Expozícia EMP v pásme vysokých kmitočtů (10 kHz – 300 GHz). – Bruxelles, CELENEC, 1995, 44 s.
4. Means D.L. Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields / D. L. Means, K. W. Chan. Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission. – Washington (USA), 2001.
5. Goedbloed, J. Electromagnetic Compatibility / J. Goedbloed, Prentice Hall, Hertfordshire (Netherlands), 1990. – ISBN 0-13-249293-8.
6. Osina O. Mobilné telefóny, aktuálny problém súčasnosti / O. Osina. Nové poznatky v oblasti medicínskych vied a ošetrovateľstva. – Fakulta zdravotníctva Katolíckej univerzity, Ružomberok, 2006, 34 s. – ISBN 80-8084-125-X
7. Santiny R. Symptoms Experienced by Users of Digital Cellular Phones: A Study of a French Engineering School / R. Santiny. Electromagnetic Biology and Medicine. – 2002. – № 21. – P. 81–88.
8. <http://www.sarvalues.com/eu-complete.html>