

УДК 621.396; 621.395.6

З. МАТОУШЕК, Й. ЯКУБ, М. ШОСТРОНЕК

*Академия вооруженных сил им. генерала М.Р. Штефаника,
г. Липтовский Микулаш, Словакия*

АНАЛИЗ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ

В статье рассматривается основной математический аппарат для анализа измерений электромагнитного излучения мобильных телефонов и их влияния на человеческий организм. Предложена методика проведения измерений электромагнитного излучения современных мобильных телефонов от различных изготовителей в специальной поглощающей камере с предоставлением конкретных результатов измерения. Предоставлены рекомендации по уменьшению негативного влияния электромагнитного излучения телефонов на человеческий организм.

Ключевые слова: мобильный телефон, электромагнитное излучение, поглощаемость.

Введение

За первоначальный период массового внедрения мобильной телефонной связи можно считать 1973 год, когда в США был осуществлен первый телефонный разговор по мобильному телефону (МТ). Наличие этого обстоятельства привело к постепенному возведению ячеистой структуры мобильных сетей [1]. Её основу представляли базовые станции (БС), благодаря которым осуществляется мобильная коммуникация.

Последовательное развитие прогрессивных технологий и их успешное внедрение в новые коммуникационные системы привело к колоссальному применению МТ в повседневную жизнь миллионов людей. В начале 90-х годов 20-го века была создана мобильная цифровая связь GSM (Global System for Mobile Communications) [2].

В настоящее время в рамках мобильных цифровых связей применяются два частотных диапазона - 900 MHz и 1800 MHz (рис. 1).

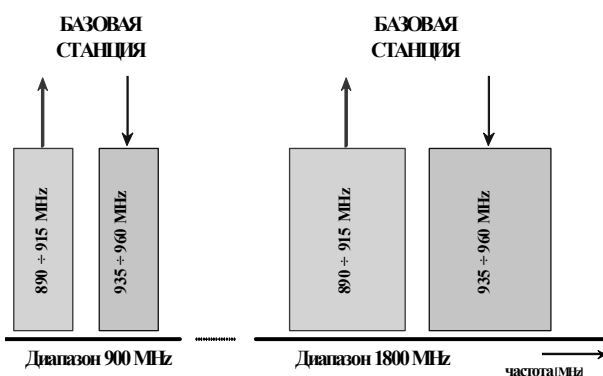


Рис. 1. Принцип коммуникации МТ в сети GSM

1. Параметры электромагнитного излучения МТ

Массовое использование МТ в повседневной жизни людей узко связано с их непосредственным влиянием на организм человека. Самая большая опасность возможного негативного влияния МТ на здоровье людей вытекает из наличия излучения электромагнитных волн во время осуществления связи.

При классическом использовании МТ находится близко от головы, что в конечном результате ведет к проникновению электромагнитной энергии в голову человека.

Основным параметром, при помощи которого оценивается уровень излучения электромагнитного поля в мобильном телефоне, является так называемая удельная степень поглощения SAR (Specific Absorption Rate), составляющая Европейского стандарта ENV 50166-2. Её можно рассчитать по формуле [3]

$$SAR = \frac{d}{dt} \left[\frac{dW}{dm} \right] = \left[\frac{dW}{\rho \cdot dV} \right] \quad [W/kg]. \quad (1)$$

На основе вышеприведенного стандарта для электронного оборудования уровень SAR определяется в частотном диапазоне от 10 kHz до 300 GHz. Максимальный уровень SAR равен 2 W/kg, причем все значения отдельных уровней должны быть усреднены в 6-минутном промежутке времени, в течение которого абонент подвержен действию электромагнитного поля [3]. Уровни SAR самых распространенных типов МТ в Европе приведены в табл. 1 (данные за июнь 2008 года).

Таблица 1
Уровень SAR самых распространенных типов МТ в Европе (июнь 2008 г.)

Параметр	Тип МТ					
	1	2	3	4	5	6
SAR [W/kg]	0,974	1,33	0,62	0,57	1,13	0,83

Параметр	Тип МТ				
	7	8	9	10	11
SAR [W/kg]	0,38	0,61	1,12	1,38	0,895

Примечание:

1 – Apple iPhone, 2 – HTC Touch Diamond, 3 – Nokia E51, 4 – Nokia 6300, 5 – Nokia 3109, 6 – LG KU990, 7 – Nokia N95, 8 – Sony Ericsson K-810, 9 – Sony Ericsson K-530, 10 – Sony Ericsson W-890i, 11 – средний уровень SAR

В процессе эксплуатации не менее важным фактом, который необходимо принимать во внимание, является глубина проникновения электромагнитной энергии в голову абонента. Ее можно определить из соотношения [4]:

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

где $\omega = 2\pi f$ [Hz] – угловая частота несущей излучаемой электромагнитной энергии;

$\epsilon_H = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot \epsilon_r$ [F/m] – диэлектрическая проницаемость ткани человеческой головы, причем для частоты 900 MHz она составляет $\epsilon_r = 41,5$ а для частоты 1800 MHz – $\epsilon_r = 40,0$;

σ_H – проводимость ткани головы, причем для частоты 900 MHz $\sigma_H = 0,97$ S/m а для частоты 1800 MHz – $\sigma_H = 1,40$ S/m,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [H/m] – магнитная проницаемость вакуума.

Для измерения излучения электромагнитного поля необходимо знать следующие параметры:

1. Напряженность электрического поля E, его предельно допустимое значение в частотном диапазоне от 400 до 2000 MHz можно определить по формуле

$$E_A = 1,375 \sqrt{f_{\text{MHz}}} \quad [\text{V/m}], \quad (3)$$

где f_{MHz} – частота несущей излучаемой электромагнитной энергии.

2. Напряженность магнитного поля H в диапазоне 400 – 2000 MHz, ее можно определить по следующей формуле:

$$H_A = 0,0037 \sqrt{f_{\text{MHz}}} \quad [\text{A/m}]. \quad (4)$$

где f_{MHz} – частота несущей излучаемой электромагнитной энергии.

3. Магнитная индукция B, предельно допустимое значение магнитной индукции для диапазона частот в пределах от 400 до 2000 MHz вычисляется из соотношения

$$B_A = 0,0046 \sqrt{f_{\text{MHz}}} \quad [\mu\text{T}]. \quad (5)$$

4. Плотность потока мощности эквивалентной плоской волны S_{eq} , его предельно допустимое значение в частотном диапазоне от 400 до 2000 MHz можно определить по формуле

$$S_{\text{Aeq}} = \frac{f_{\text{MHz}}}{200} \quad [\text{W/m}^2]. \quad (6)$$

Расчётные данные вышеприведенных параметров представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные параметры электромагнитного поля

Параметр	Частота [MHz]	
	900	1800
d [cm]	3,62	2,43
E_A [V/m]	41,25	38,33
H_A [A/m]	0,11	0,157
B_A [μT]	0,138	0,195
S_{Aeq} [W/m^2]	4,5	9,0

2. Удельная поглощаемость и напряженность электрического поля МТ

Все изготовители МТ должны соблюдать требования Европейского стандарта ENV 50166-2, в котором установлен максимальный уровень SAR при максимально излучаемой мощности МТ. Как уже было сказано, этот уровень не должен превышать 2 W/kg.

Применяя напряженность электрического поля E (при частоте несущей волны излучаемой электромагнитной энергии $f > 10$ MHz) можно определить SAR в виде [5]

$$\text{SAR} = E^2 \frac{\sigma}{\rho} \quad [\text{W/kg}], \quad (7)$$

где σ – проводимость среды, в которой распространяются электромагнитные волны [S/m],

ρ – удельная плотность среды [kg/m³].

На основании выражения [5] можно определить напряженность электрического поля E на данном уровне SAR:

$$E = \sqrt{\text{SAR} \frac{\rho}{\sigma}} \quad [\text{V/m}]. \quad (8)$$

При телефонном разговоре МТ находится в непосредственной близости от головы, поэтому необходимо определить проводимость среды σ и удельную плотность среды ρ для ткани человеческой головы.

Для соответствующих частотных диапазонов в сети GSM их значения будугравны [6]:

$\sigma = 0,97$ S/m для частотного диапазона 900 MHz;

$\sigma = 1,40$ S/m для частотного диапазона 1800 MHz;

$\rho = 1000$ kg/m³.

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

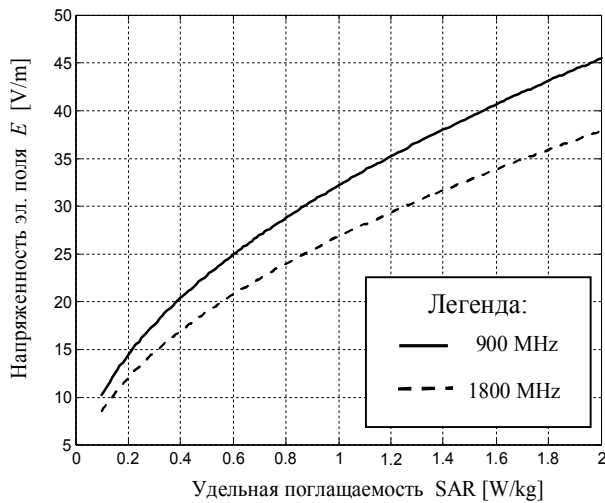


Рис. 2. Зависимость напряженности электрического поля E от уровня SAR

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

$$T_{\text{EXP}} = \frac{6E_A}{E} \quad [\text{min}]. \quad (9)$$

Максимальная экспозиционная доза T_{EXP} представляет собой предельное время, при котором во время телефонного звонка не будет превышен предельный лимит экспозиционной дозы. Результа-

ты вычисления интенсивности электрического поля E и максимальной экспозиционной дозы T_{EXP} приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Величины интенсивности электрического поля E и максимальной экспозиционной дозы T_{EXP} для выбранных уровней SAR в диапазоне 900 MHz ($E_A = 41,25$ V/m)

Величина	Уровень SAR [W/kg]					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1
E [V/m]	10,15	17,59	22,70	26,86	30,46	32,11
T_{EXP} [min.]	24,38	14,07	10,90	9,21	8,12	7,71

Величина	Уровень SAR [W/kg]				
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
E [V/m]	35,17	37,99	40,61	43,08	45,41
T_{EXP} [min.]	7,04	6,52	6,09	5,75	5,45

Таблица 4

Величины интенсивности электрического поля E и максимальной экспозиционной дозы T_{EXP} для выбранных уровней SAR в диапазоне 1800 MHz ($E_A = 58,33$ V/m)

Величина	Уровень SAR [W/kg]					
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1
E [V/m]	8,45	14,64	18,90	22,36	25,36	26,73
T_{EXP} [min.]	41,41	23,91	18,52	15,65	13,80	13,10

Величина	Уровень SAR [W/kg]				
	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
E [V/m]	29,28	31,62	33,81	35,86	37,80
T_{EXP} [min.]	11,95	11,07	10,35	9,76	9,26

Графическое выражение зависимости экспозиционной дозы T_{EXP} от напряженности электрического поля, вычисленное исходя из значений SAR = (0,1÷2,0) W/kg представлено на рис. 3.

Аналогичным образом можно определить экспозиционную дозу T_{EXP} и для соответствующих уровней SAR.

График зависимости экспозиционной дозы T_{EXP} от удельной поглощаемости SAR = (0,1÷2,0) W/kg представлен на рис. 4.

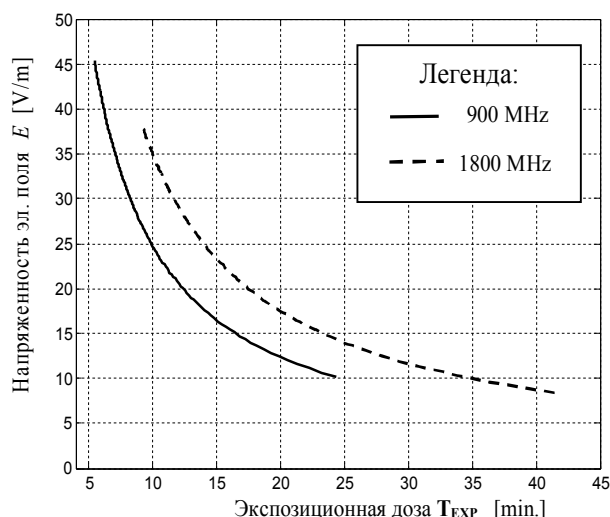


Рис. 3. Зависимость экспозиционной дозы T_{EXP} от напряженности электрического поля E

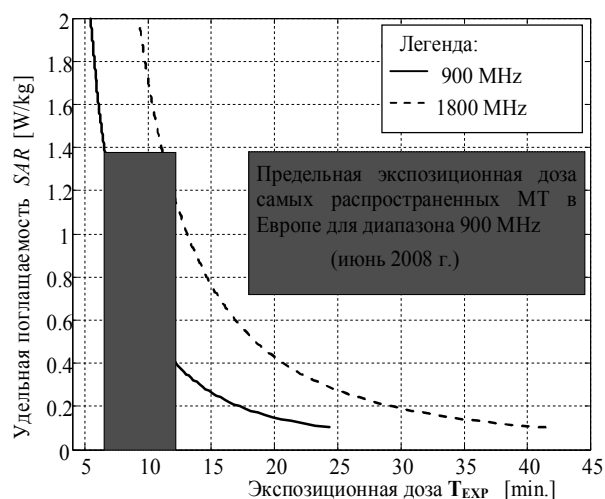


Рис. 4. Зависимости экспозиционной дозы T_{EXP} от удельной поглощаемости SAR = (0,1±2,0) W/kg

3. Влияние излучения МТ на человека – рекомендации

Результаты многолетних исследований в области воздействия электромагнитного излучения на живые организмы указывают на определенную опасность для здоровья при частом использовании МТ. К числу клинических симптомов можно отнести, например, ощущение тепла в области уха, утомленность, головная боль, туманное видение и тому подобное [7].

Учитывая вышеприведенные обстоятельства можно предположить, что при продолжительных телефонных разговорах может проявиться негативное влияние излучения МТ на человеческий организм, прежде всего в области головы.

Исходя из всего вышеприведенного при использовании МТ мы рекомендуем соблюдать сле-

дующие меры предосторожности [7]:

- минимизировать продолжительность разговоров;
- при длительном разговоре менять место расположение 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 минимизировать применение МТ в помещениях со слабым сигналом (лифт, автомобиль и т.п.), так как слабый сигнал приводит в МТ к адаптивному повышению уровня излучения мощности МТ,
- минимизировать использование МТ детьми, беременными женщинами и людьми с кардиостимулятором.

Заключение

На основе проведенных измерений электромагнитного излучения у наиболее распространенных типов МТ (статистические данные за июнь 2008 года) можно сделать вывод, 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 минут будет превышен допустимый уровень облучения электромагнитным полем.

Можно предполагать, что при продолжительных телефонных переговорах (длительностью более 10 минут) может проявиться негативное влияние электромагнитного излучения МТ на человеческий организм, прежде всего в области головы.

Литература

1. Olbert M. *Mobilná komunikácia [Referát] [Электронный ресурс]*. – Banská Bystrica, 2005, Режим доступа: <http://www.tahaky-referaty.sk/SAR---vyzarovanie-mobilnych-telefonov/1511/&i9>
2. Doboš L. *Mobilné rádiové siete/ L. Doboš*. – Žilinská univerzita, Žilina, 2002, – 312 s., ISBN 80-7100-936-9.
3. Celenec. *Expozícia EMP v pásme vysokých kmitočtů (10 kHz – 300 GHz)/ Celenec*. – Bruxelles, celenec, 1995, – 44 s.
4. Means D.L. *Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields*. Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission/ D.L. Means, K.W. Chan. – Washington (USA), 2001.
5. Goedbloed J. *Electromagnetic Compatibility/ J Goedbloed*. – Prentice Hall, Hertfordshire (Netherlands), 1990, ISBN 0-13-249293-8.

6. Loveček T. *Legal Aspects of Information Systems Security in the Slovak Republic and the European Union* / T. loveček, J. Ristvej // *Zborník príspevkov z medzinárodnej vedeckej konferencie: "The Internet, Competitiveness and Organizational Security - Information and Data Security, Crisis Management and Strategic Decision-making in Knowledge Society"*, Tomas

Bata University in Zlín, Zlín, 2008, CD, 4 strany, – 38 s., ISBN: 978-80-7318-548-0.

7. Osina O. *Mobilné telefóny, aktuálny problém súčasnosti* / O. Osina // *In Nové poznatky v oblasti medicínskych vied a ošetrovatelstva, Fakulta zdravotníctva Katolíckej univerzity, Ružomberok, 2006, – 34 s., ISBN 80-8084-125-X.*

Поступила в редакцію 9.09.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. 502 Г.Я. Красовский, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

АНАЛІЗ ВИМІРІВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕФОНІВ

З. Матоушек, Й. Якуб, М. Шостронек

У статті розглядається основний математичний апарат для аналізу вимірів електромагнітного випромінювання мобільних телефонів та їхнього впливу на людський організм. Запропоновано методику проведення вимірів електромагнітного випромінювання сучасних мобільних телефонів від різних виробників у спеціальній поглинаючій камері з наданням конкретних результатів виміру. Надано рекомендації зі зменшення негативного впливу електромагнітного випромінювання телефонів на людський організм.

Ключові слова: мобільний телефон, електромагнітне випромінювання, поглинання.

A MEASUREMENT ANALYSIS OF CELL PHONES ELECTROMAGNETIC RADIATION

Z. Matoušek, J. Jakub, M. Shostronek

In the article there is presented a basic mathematical apparatus for estimation of electromagnetic radiation of mobile phones and their influences upon human organism. The offered methods of the realization the measurements of the electromagnetic radiation modern mobile telephone from different manufacturers in special absorbing camera and giving out concrete result measurements. Given recommendations on reduction of the negative influence electromagnetic radiation from telephone on human organism.

Key words: cell phone, electromagnetic radiation, Specific Absorption Rate.

Матоушек Зденек – канд. техн. наук, доцент, кафедра електроніки, Академія озброєних сил ім. генерала М.Р. Штефаника, г. Липтовський Микулаш, Словаччина, e-mail: zdenek.matousek@aos.sk.

Якуб Йозеф – канд. техн. наук, доцент, кафедра електроніки, Академія озброєних сил ім. генерала М.Р. Штефаника, г. Липтовський Микулаш, Словаччина, e-mail: jozef.jakub@aos.sk.

Шостронек Микулаш – канд. техн. наук, кафедра електроніки, Академія озброєних сил ім. генерала М.Р. Штефаника, г. Липтовський Микулаш, Словаччина, mikulas.sostronek@aos.sk.