

деятельности студентов – 2001. (<http://www.ncstu.ru>). **10.** Павленко Т.С. Застосування технології модульного навчання при організації самостійної роботи студентів з питань промислової безпеки. Збірник наукових праць. Педагогічні науки. Випуск 43. – Херсон: Видавництво ХДУ, 2006. – С.312-316. **11.** С.О.Сисоєва Неперервна професійна освіта в контексті її технологічного забезпечення // неперервна професійна освіта: теорія і практика: Науково-методичний журнал. – 2004. – Вип.2. – 96-103 с

Поступила в редколлегию 11.05.2008

МАТОУШЕК ЗДЕНЕК, канд. техн. наук, инж. **ЯКУБ ЙОЗЕФ**, к.т.н. доц. инж. **ГИКЕЛ АРНОШТ**, инж. Академия вооруженных сил им. М.Р. Штефаника г. Липтовский Микулаш (Словакия)

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАЗИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИИ

В данной статье описываются основные параметры и методы измерений параметров электромагнитной совместимости исследуемого объекта. В статье также приведены конкретные данные измерений паразитного излучения электрического изделия в миллиметровом диапазоне, а также анализ полученных результатов измерения с точки зрения помехоустойчивости и охраны труда.

1.МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ (ЭМС)

Для обсуждения ЭМС и электромагнитной безопасности необходимо и паразитного

излучения определить следующие параметры измеряемого объекта:

- а) измеряемая мощность на выходе измеряющей антенны P_R [W] на расстоянии R [m] от измеряемого объекта,
- б) интенсивность электрического поля на входе измеряемой антенны E_R [V/m],
- в) плотность мощности паразитного сигнала на входе измеряющей антенны r_R [W/cm²],
- г) удельная поглощающая мощность P_{AR} [W/kg] на входе измеряющей антенны.

Основной принцип измерения паразитного излучения электрического оборудования в поглощающей камере представлен на рис.1.

Предельные величины указанных параметров установлены европейским стандартом CELENC (European Committee for Electrotechnical Standardization).

Значения отдельных параметров и переменных величин:

P_V – мощность паразитного излучения объекта измерения [W],

G_{VA} – усиление излучающей антенны объекта измерения

E_R – напряжение электрического поля на входе измеряющей антенны [V/m],

P_{AR} – мощность паразитного излучения на входе измеряемой антенны [W],

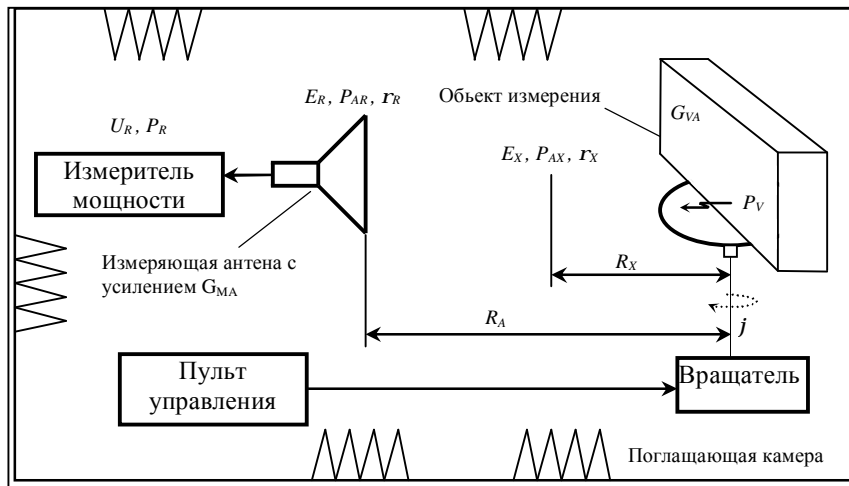


Рис.1 Измерительный стенд паразитного излучения в поглощающей камере

P_R – плотность мощности на входе измеряющей антенны [W/cm^2],

G_{MA} – усиление измеряющей антенны

P_R – измеряемая мощность на измерителе мощности приведенная к входному импедансу (50Ω) [W],

U_R – напряжение на выходе измеряющей антенны [V],

E_X – напряжение электрического поля на расстоянии R_X от объекта измерения [V/m],

P_{AX} – мощность паразитного излучения на расстоянии R_X от объекта измерения [W],

P_X – плотность мощности на расстоянии R_X от объекта измерения [W/cm^2],

φ – угол поворота объекта измерения относительно измеряющей антенны.

2. ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАРАЗИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

При измерении паразитного излучения электрического оборудования (измеряемого объекта) необходимо знать математический аппарат для определения величин отдельных переменных электромагнитного поля и измеряемых компонентов. Активная мощность паразитного излучения P_R на входе измеряемой антенны на основе отношения

$$P_R = P_V G_V G_{MA} \left(\frac{l}{4pR_A} \right)^2 \quad [W], \quad (1)$$

где:

$l = c / f_N$ – длина волны паразитно излучаемой электромагнитной энергии [m],

c – скорость распространения электромагнитной энергии в свободном пространстве $3 \cdot 10^8$ [m/s],

f_N – несущая частота паразитного излучения электромагнитной энергии [Hz].

Если эффективную площадь измеряемой антенны A_{efMA} определим при помощи ее усиления по формуле

$$A_{efMA} = G_{MA} \frac{l^2}{4p} \quad [m^2], \quad (2)$$

потом измеряемая мощность на измерителе мощности P_R может быть выражена через ее плотность r_R в виде

$$P_R = r_R A_{efMA} \quad [W; W/m^2, m^2]. \quad (3)$$

Плотность мощности r_R на входе измеряемой антенны можно вычислить при помощи напряженности электрического поля E_R и полного сопротивления свободного пространства Z_{VP} по формуле

$$r_R = \frac{E_R^2}{Z_{VP}} = \frac{E_R^2}{120\pi} \quad [W/m^2; V/m, \Omega^{-1}]. \quad (4)$$

Напряжение на выходе измеряемой антенны U_R можно вывести из отношения измеренной мощности, которая была измерена измерителем мощности, к полному сопротивлению на входе (50Ω)

$$P_R = \frac{U_R^2}{50} \Rightarrow U_R = \sqrt{50P_R} \quad [V; \Omega, W]. \quad (5)$$

Для определения напряженности электрического поля на входе измерительной антенны E_R используется антенный коэффициент AF , который после подстановки в формулы (2) – (5) будет иметь вид

$$AF = \frac{E_R}{U_R} = \frac{9,73}{I \sqrt{G_{MA}}} \quad [m^{-1}]. \quad (6)$$

После подстановки в формулу (6) получим отношение для напряженности электрического поля E_R в виде

$$E_R = AF U_R \quad [V/m; m^{-1}, V]. \quad (7)$$

Для выражения напряженности электрического поля в децибелах из формулы (7) используют отношение

$$E_{R[dB]} = 20 \log E_R = 20 \log AF + 20 \log U_R = AF_{[dB]} + U_{R[dB]}. \quad (8)$$

После подстановки выражений (5) и (6) в (7) получим выражение для определения напряженности электрического поля E_R измеряемой мощности на входе антенны P_R в виде

$$E_R = \frac{68,8}{I} \sqrt{\frac{P_R}{G_{MA}}} \quad [V/m; m^{-1}, W]. \quad (9)$$

После определения напряженности электрического поля E_R на входе измеряемой антенны, при условии предположения дипольного излучения измеряемого объекта в отдаленной зоне, можно трансформировать напряженность электрического поля E_R на напряженность E_X , т.е. на любое расстояние R_X от измеряемого объекта. Для определения E_X из E_R применяют формулу

$$E_x = E_R \frac{R_A}{R_x} \quad [\text{V/m}]. \quad (10)$$

Расстояние R_x должно быть больше, чем минимальное расстояние зоны паразитного излучения. Для его вычисления из максимального размера измеряемого объекта D служит соотношение

$$R_x \geq \frac{2D^2}{\lambda} \quad [\text{m}]. \quad (11)$$

После этого необходимо вывести отношение удельной абсорбированной мощности на единицу веса (массы) $P_{\text{Акг}}$ [W/kg]. Для этого необходимо применить балансовое энергетическое уравнение для определения удельной абсорбированной мощности на единицу объема в виде

$$P_{\text{Асм}^3} = 0,56e_r \text{tg}d_z f_N E_{\text{эф}}^2 \cdot 10^{-12} \quad [\text{W/cm}^3; \text{Hz}, \text{V/cm}], \quad (12)$$

где:

e_r - относительная диэлектрическая проницаемость, величина которой для дистиллированной воды имеет значение 80 (при $f_N = 3 \text{ GHz}$)

$e_r \text{tg}d_z$ - коэффициент потерь,

$E_{\text{эф}} = E_R / e_r$ - эффективная напряженность электрического поля, пересчитанная для данного материала (например дистиллированной воды).

Если в это отношение внести удельную плотность авсорбционного носителя то можно вывести отношение для удельной абсорбированной мощности на единицу веса (массы) $P_{\text{Акг}}$ по формуле

$$P_{\text{Акг}} = c_S P_{\text{Асм}^3} \quad [\text{W/kg}; \text{cm}^3/\text{kg}, \text{W/cm}^3]. \quad (13)$$

где:

c_S - величина из таблицы для дистиллированной воды 1000 (т.е. 1000 cm^3 на 1 кг веса).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ ПЕЧИ

Математические отношения, которые были изложены в предыдущей части, были применены для измерений и определений уровня паразитного электромагнитного излучения СВЧ печи.

Измерения проводились на расстоянии $R_A = 5 \text{ м}$ от измерительной антенны (смотри рис. 1). В роли исследуемого электрического оборудования была использована СВЧ печь со следующими параметрами:

- марка: ORAVA MW 800 HV 25 (страна производитель – Словакия),
- частота магнетрона: 2,45 GHz,
- мощность: 800 W,
- напряжение питания: 230 V/50 Hz,
- подводимая мощность: 1300 VA.

Измерения проводились в диапазоне углов поворота $\varphi = 0^{\circ} - 360^{\circ}$ с шагом 5° , причем угол $\varphi = 0^{\circ}$ соответствовал перпендикулярному направлению измеряющей антенны на защитную дверь СВЧ печи.

Величину интенсивности электрического поля E_R необходимо пересчитать по формуле (10) на зону облучения СВЧ печи R_x , которая была установлена изготовителем на $R_x = 0,5$ м. Таким образом получим новое значение интенсивности электрического поля $E_{0,5}$, которое изображено на рисунке 2.

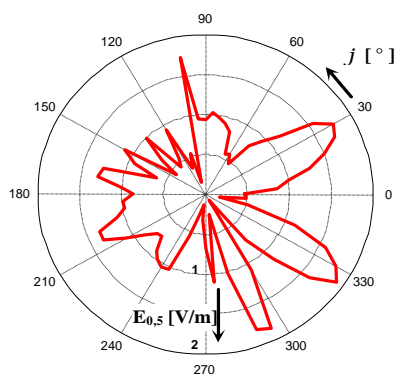


Рис. 2 Интенсивность электрического поля $E_{0,5}$ в зависимости от угла поворота φ

Из рисунку 2 очевидно, что исследуемая СВЧ печь больше всего излучает паразитные электромагнитные волны через боковые дверные прокладки и через задние вентиляционные отверстия (шлюзы). На основе максимальной величины интенсивности электрического поля E_{Rmax} , определенной для зоны излучения ($R_A = 0,5$ м), можно вычислить максимальное значение интенсивности электрического поля на любом расстоянии от измеряемого объекта E_{Xmax} .

$$E_{XMAX} = E_{RMAX} \frac{R_A}{R_x} \quad [\text{V/m}], \quad (14)$$

График зависимость рассчитанной максимальной интенсивности электрического поля E_{Xmax} на расстоянии R_x изображен на рис. 3.

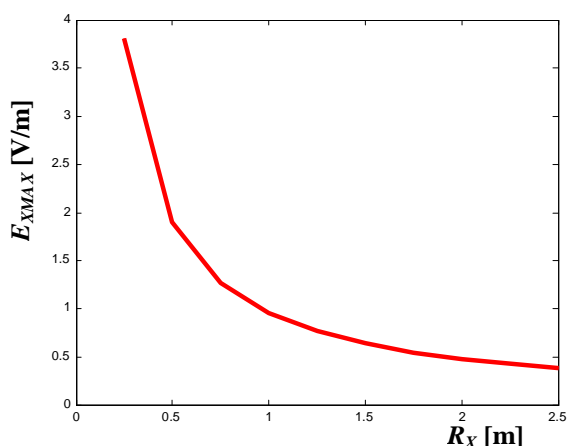


Рис. 3 График интенсивности электрического поля E_{Xmax} в зависимости от расстояния R_x

На основе действующих международных стандартов максимальное значение интенсивности электрического поля для лиц, находящихся в непосредственной близости электромагнитного поля в частотном диапазоне от 2 до 300 GHz было установлено на $E = 61 \text{ V/m}$.

Для частот в диапазоне от 10 kHz до 10 GHz эта величина должна равняться квадрату интенсивности электрического поля усреднена в интервале 6 минут [4]. Таким образом максимальное значение временной экспозиции $T_{x\text{max}}$ можно определить по формуле

$$T_{x\text{MAX}} = \frac{6,1}{E_{R\text{MAX}}} \text{ [ч.]}. \quad (15)$$

Расчетные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Значения $T_{x\text{max}}$ соответствующие интенсивностям электрического поля $E_{x\text{max}}$

R_x [m]	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5
$E_{x\text{MAX}}$ [V/m]	3,81	1,91	1,27	0,95	0,64	0,48	0,38
$T_{x\text{MAX}}$ [ч.]	1,6	3,19	4,80	6,42	9,53	12,7	16,05

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных измерений и полученных расчетных данных интенсивность паразитного излучения можно констатировать, что исследуемое изделие – СВЧ печь ORAVA MW 800 HV 25 соответствует данным стандартам для обслуживания лицами, находящимися в непосредственной близости (работы излучения) электромагнитного поля. Данные, приведенных в таблице 1 указывают на то, что лицо, обслуживающее СВЧ печь может постоянно и без медицинских последствий находится в ее близости (0,25 м) не больше 1,6 часа.

Из рисунка 3 тоже видно, что графическая зависимость $E_{x\text{max}} = \varphi(R_x)$ имеет экспотенциальный характер, т. е. при малых расстояниях R_x интенсивность поля бастро (мгновенно) нарастает. Это значит, что при очень малых расстояниях нахождения обслуживающего персонала от работающей СВЧ печи может возникнуть повреждение здоровья, а в первую очередь повреждение зрения. Например на расстоянии $R_x = 1 \text{ см}$ интенсивность электрического поля достигает 95,5 В/м, а при $T_{x\text{max}} = 3,8 \text{ мин.}$ может иметь чрезвычайно важные последствия для живого организма.

Список литературы: 1. GOEDBLOED, J.: *Electromagnetic Compatibility*, Prentice Hall, Hertfordshire (Netherlands), 1990, ISBN 0-13-249293-8. 2. MATOUŠEK, Z. – OCHODNICKÝ, J. – HYKEL, A.: *Šírenie elektromagnetických vln a vodičové antény*, Liptovský Mikuláš, 2006, ISBN 80-8040-306-6. 3. VACULÍKOVÁ, P. – VACULÍK, E. a kol.: *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů*, vydavatelství Grada, Praha, 1998, ISBN 80-7169-568-8. 4. Nariadenia vlády Slovenskej republiky č. 325, In: *Zbierka zákonov č. 325/2006*, Bratislava, 10. máj 2006, 12 s.

Поступила в редколлегию 11.05.2008