

**Б.В.ДЗЮНДЗЮК**, д-р. техн. наук, проф.,  
**Т.Е.СТЫЦЕНКО**,  
**М.И.ПАЦЕРА**

## **КРИТЕРИЙ И СПОСОБЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ**

В статті розглядаються критерії та засоби оптимального розміщення датчиків при налагоджуванні та налаштуванні радіоапаратури для оцінювання умов праці, на основі динамічного спостереження та характеру випромінювання мікрохвиль.

В производственных условиях при наладке, настройке и ремонте радиоаппаратуры обслуживающий персонал находится под воздействием электромагнитной энергии. Для оценки величины облучения необходимо определить суммарную величину плотности потока мощности и провести оценку условий труда на основе динамического наблюдения и характера облучения людей.

При переходе к диапазону СВЧ большинство металлических предметов в помещениях становятся эффективными отражателями электромагнитной энергии, что приводит к многолучевому распространению, являющемуся физической причиной интерференционных максимумов и минимумов на рабочих местах.

Отметим, что аналитический метод расчета поля в пределах помещений промышленных предприятий не может быть применен вследствие того, что поле является суперпозицией прямой волны, большого числа отраженных волн и паразитных излучений, имеющих случайные амплитуды и фазы.

Для оценки переизлучателей обычно вводят величину эффективности площади рассеяния. Аналитически задача о вычислении эффективных площадей может быть решена только для весьма ограниченного числа тел простейшей формы (шара, круглого цилиндра, конуса, плоского диска, металлического листа, полуволнового диполя и т.п.), совершенно не охватывающих всего многообразия форм переизлучателей, имеющихся в помещении. Поскольку излучение происходит как из антенн, так и излучается паразитными излучателями (неплотное прилегание фланцев, конструктивные отверстия, выводы магнетрона и т. д.) а также число и расположение как тел, так и излучателей случайно, понятия невозможность детерминированного определения плотности потока мощности на рабочем месте.

Мгновенное значение напряженности поля прямой волны в точке приема (с учетом потерь распространения за счет поглощения и рассеивания на неоднородностях, имеющихся на пути распространения определяется выражением

$$E = \frac{B \sqrt{60 P_1 D_1}}{r} e^{i(\omega t - kr)}, \frac{B}{M}$$

где  $P_1$  - мощность излучения;  
 $D_1$  - передающей КНД антенны;  
 $r$  - расстояние между передающей антенной и точкой приема;  
 $B$  - множитель ослабления;  
 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  - волновой множитель.

Мгновенное значение напряженности поля переизлученной волны и  
 излучений

$$E(r') = \frac{\xi BR \sqrt{60 P_1 D_1}}{\|r' - r''\|} e^{i(\omega t - k \|r' - r''\|) - \theta}$$

где  $R$  - модуль комплексного коэффициента отражения;

$\theta$  - изменение фазы при отражении

$$\|r' - r''\| = \sqrt{(x' - x'')^2 + (y' - y'')^2 + (z' - z'')^2}$$

где  $r' = (x', y', z')$  - точка приема;

$r'' = (x'', y'', z'')$  - точка расположения переизлучателя;

$\xi$  - коэффициент, учитывающий поляризацию.

Паразитные излучения можно отнести к классу переизлучений и анализ  
 паразитных излучений следует вести по той же методике, что и для  
 излучателей. При этом следует понимать:

$R$  - модуль комплексного коэффициента паразитного  
 излучателя;

$\theta$  - фаза источника паразитного излучателя;

$\xi$  - коэффициент поляризации источника паразитного  
 чателя;

$\|r' - r''\|$  - расстояние между точкой приема и паразитным  
 чателем.

Не следует связывать паразитное излучение и основное с помощью  
 го-либо коэффициента, так как поле паразитного излучателя может  
 ствовать в точках пространства, экранированных от поля основного  
 чателя. Мгновенное значение напряженности поля в точке приема может  
 определен следующим образом [1]

$$E = E_{\text{пр}} + \sum_{j=1}^n I_{\text{источника}}$$

При условии экранирования точки приема от прямого излучения окончательно получаем при значениях  $A_j = \xi_j B_j R_j \sqrt{60 P_1 D_1}$

$$E = \sum_{j=1}^n \frac{A_j}{\|r' - r_j\|} e^{i(\omega t - k \|r' - r_j\| - \theta_j)}$$

Будем считать случайные величины  $A_j, r_j, \theta_j$  независимыми и одинаково распределенными.

Определим величину мощности  $E^2$ .

$$|E|^2 = \sum_{j,l=1}^n \frac{A_j A_l}{\|r' - r_j\| \|r' - r_l\|} \exp(i(\varphi_j - \varphi_l) - k(\|r' - r_j\| + \|r' - r_l\|))$$

где  $\varphi_j = \omega t - \theta_j$ .

Математическое ожидание этой величины

$$M|E|^2 = \sum_{j,l=1}^n M \left[ \frac{A_j A_l \exp(i(k(\|r' - r_j\| + \|r' - r_l\|) - \theta_j + \theta_l))}{\|r' - r_j\| \|r' - r_l\|} \right] \times M[\exp(i(\theta_l - \theta_j))]$$

Рассмотрим величину  $\exp(i(\theta_l - \theta_j))$ . При  $l \neq j$  разность  $\theta_l - \theta_j$  - равномерно распределенная случайная величина, причем  $0 \leq \exp(i(\theta_l - \theta_j)) < 2\pi$  и  $M[\exp(i(\theta_l - \theta_j))] = 0$

Если  $l = j$ , то  $\exp(i(\theta_l - \theta_j)) = 1$ .

Исходя из этого

$$M|E(r')|^2 = \sum_{j=1}^n M \frac{A_j^2}{\|r' - r_j\|^2} = \sum_{j=1}^n M A_j^2 \frac{1}{\|r' - r_j\|^2} = n B_1^2 f_1(r')$$

где  $B_1^2 = M A_j^2$

$$f_1(r') = M \frac{1}{\|r' - r_j\|^2} = \int_V \frac{P(r)}{\|r' - r_j\|^2} dr$$

где  $P(r)$  - плотность распределения источников переносчиков;

$V$  - область расположения источников переносчиков.

В работе [2] предложена методика выбора точек для размещения контрольно-измерительных приборов. Для вычисления оптимальных координат точек размещения необходимо знать корреляционную функцию измеряемого случайного поля.

Определим корреляционную функцию мощности ЭМИ



$$\delta(\rho_1, \dots, \rho_m) = \frac{\Gamma(\rho_1, \dots, \rho_m; r')}{\Gamma(\rho_1, \dots, \rho_m)}$$

Таким образом, мы приходим к оптимизационной задаче вида:

найти  $\rho_1, \dots, \rho_m$  такие, что

$$\max_{r' \in V} \frac{\Gamma(\rho_1, \dots, \rho_m; r')}{\Gamma(\rho_1, \dots, \rho_m)} \rightarrow \min$$

Эту задачу нелинейной оптимизации нужно решать численными методами

При  $p \gg 1$  можем принять

$$B(r', r'') = n^2 B_1 f_3^2(r', r'')$$

При этом

$$\delta(\rho_1, \dots, \rho_m; r) = n^2 B_1^4 \cdot \frac{\left| \begin{array}{c} f_3^2(\rho_1, \rho_1) \dots f_3^2(\rho_1, \rho_m) | f_3^2(\rho_1; r')|^2 \\ \dots \\ f_3^2(\rho_m, \rho_1) \dots f_3^2(\rho_m, \rho_m) | f_3^2(\rho_m; r')|^2 \\ f_3^2(r', \rho_1) \dots f_3^2(r', \rho_m) f_3^2(r', r') \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{c} f_3^2(\rho_1, \rho_1) \dots f_3^2(\rho_1, \rho_m) \\ \dots \\ f_3^2(\rho_m, \rho_1) \dots f_3^2(\rho_m, \rho_m) \end{array} \right|}$$

и выбор оптимального набора точек  $\rho_1, \dots, \rho_m$  сводится к задаче

минимакса по  $r' \in V$  и  $\rho$ , для отношения детерминантов в этой формуле.

Решая оптимизационную задачу, мы выбираем точки замера ППМ. Отметим, что несмотря на кажущуюся сложность задачи, на самом деле можно ограничиться небольшим числом  $m$  точек замера, относительно невысокой точностью решения. При решении задачи выбора точек замера нужно исходить из того, что погрешность интерполяции должна иметь один порядок с погрешностью измерения параметра.

Список литературы: 1. Кинт Р., Тай-цзунь У. Рассеяние и дифракция электромагнитных волн. М., 1962, 168 с. 2. Иоффе М.И. Об оптимальном размещении контрольно-измерительных элементов в случайном поле // Радиотехника и электроника. М., 1973. С.35-40.

Поступила в редколлегию 19.02.2006