

УДК 681.518.3: 621.391.26

## КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА БЕСПРОВОДНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ И БЫТОВЫХ СВЧ-ПРИБОРОВ



С.В. ЧЕРНЫЙ

Институт космических исследований  
Национальной академии наук и Нацио-  
нального космического агентства Украины



Д.И. НЕТИКОВА

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

*В роботі розглянуто комплекс екологічного моніторингу електромагнітних випромінювань у діапазоні 0,1 -3.5 ГГц. Запропонований комплекс дозволяє оцінювати усереднені характеристики опромінення електромагнітним полем.*

*In this article the complex for ecological monitoring of electromagnetic radiation in range 0.1 -3.5 GHz was considered. Introduced Complex makes it possible to evaluate average descriptions radiation of electromagnetic field.*

*В работе рассмотрен комплекс экологического мониторинга электромагнитных излучений в диапазоне 0,1 -3.5 ГГц. Предложенный комплекс позволяет оценивать усреднённые характеристики облучения электромагнитным полем.*

### Введение

Интенсивное развитие беспроводных телекоммуникационных сетей (ТКС) в современных условиях приводит к увеличению их экологического влияния на человека. Появляются новые радиоизлучающие приборы, интенсивность излучения которых может выходить за допустимые нормы. Вместе с тем, наряду с расширением разнообразия количества технических устройств ТКС средства контроля их излучений не нашли должного распространения.

Нормированию электромагнитных излучений (ЭМИ) уделяется пристальное внимание [1, 2], однако вопросы оперативного контроля реальных уровней излучения в большинстве учреждений и в бытовых условиях практически не исследованы. Одной из причин такого несоответствия является слабое развитие (относительно радиоизлучающих приборов) недорогих портативных средств измерения мощности излучения и доз облучения радиотехнического диапазона. В этой связи целью данной статьи является разработка средств объективного контроля полей беспроводных телекоммуникационных сетей и бытовых СВЧ-приборов.

### I. Описание комплекса экологического мониторинга излучений

Авторами был разработан малогабаритный индикатор мощности для диапазона частот 0.1-3.5 ГГц [3]. Индикатор позволяет оценивать мощность радиоизлучения в пределах от +10 до -70 дБм с дискретностью отсчёта 10 дБм. Малогабаритным

индикатором мощности была измерена мощность фонового электромагнитного излучения в учебной аудитории. В ходе исследований установлено, что ЭМИ в аудитории не превышает допустимые нормы (рис. 1). Графическая интерпретация проведенных измерений была осуществлена с помощью среды MatLab.

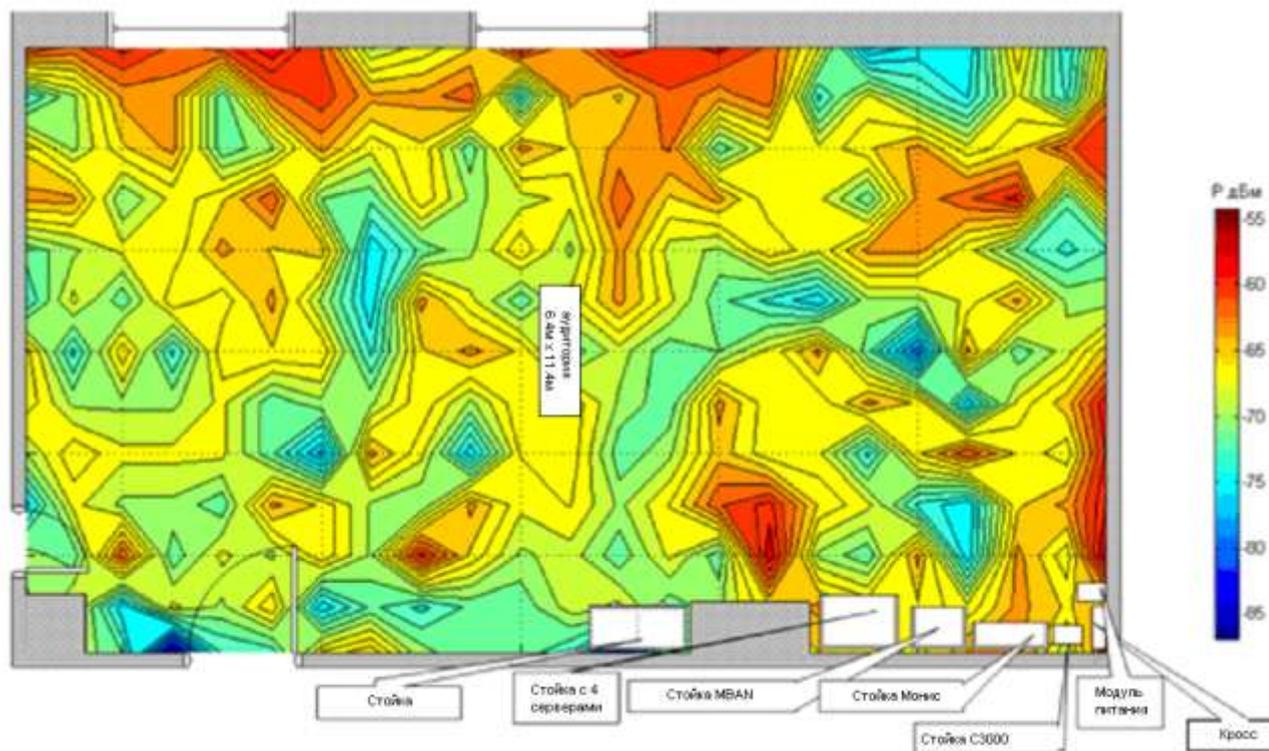


Рис. 1. Модель распределения фонового ЭМИ в помещении

Для пространственно-временного мониторинга ЭМИ авторами был разработан комплекс экологического мониторинга излучений, в состав которого входит малогабаритный индикатор мощности для диапазона частот 0.1-3.5 ГГц [3] и программно-аппаратные средства обработки измерений. Программное обеспечение экологического комплекса осуществляет [4]:

- приём сигнала, поступающего от индикатора мощности;
- вычисление дозы облучения, усреднённой в пределах заданного периода накопления в пределах от 0,01 – до 60 секунд;
- вычисление и индикацию спектрограммы огибающей сигнала;
- построение гистограммы распределения частот.

На рис. 2 представлен вид экрана монитора комплекса для экологического мониторинга. Пример огибающей регистрируемого сигнала приведен на рис. 2 а. Текущая спектрограмма (рис. 2 б) представляет собой преобразование Фурье от выборки из 2048 точек сигнала на протяжении заданного интервала накопления (по умолчанию 30 секунд). Частота дискретизации сигнала 8 кГц и может быть увеличена до 44 кГц.

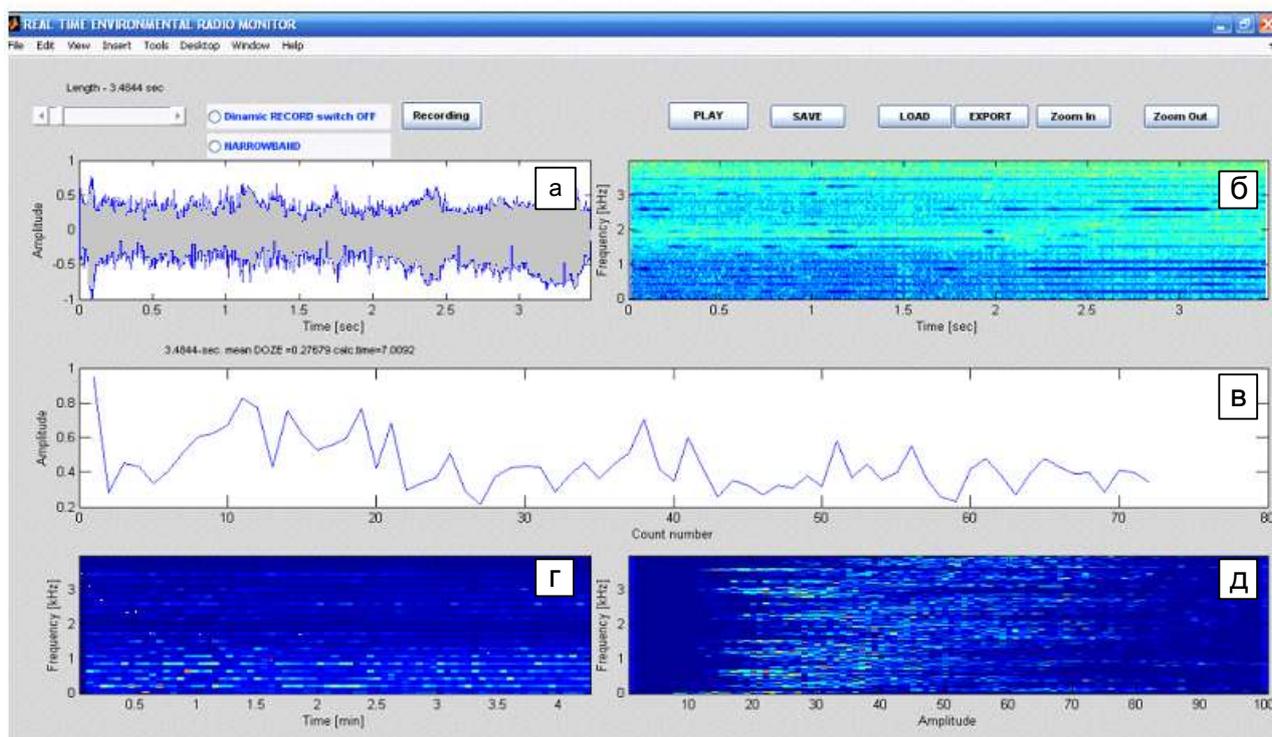


Рис. 2. Результаты экологического радиомониторинга, полученные с помощью комплекса (а – огибающая входного сигнала электромагнитного излучения, б – спектр входного сигнала, в – график дозы усреднённой в пределах заданного временного промежутка, г - усреднённая спектрограмма сигнала, д – распределение амплитуд вероятности спектральных составляющих)

Усреднённая спектрограмма (рис. 2 г) представляет собой среднее значение амплитуд спектральных составляющих за заданный период накопления (30 секунд). На спектрограмме (рис. 2 д) представлены плотности вероятности попадания амплитуд спектральных составляющих в заданные интервалы. Количество интервалов равно 100. Из графика регистрируемого сигнала (рис. 2 а) следует, что сигналы имеют сложную форму. Для многих телекоммуникационных средств характерен импульсный режим работы. В связи с этим для сопоставления сигналов разной формы целесообразно использовать методику, основанную на расчёте максимальной вероятной дозы облучения. Для вероятности попадания значения дозы в диапазон от нуля до  $x$  справедливо:

$$P = \int_0^x p(x) \cdot dx, \quad (1)$$

где  $P$  – вероятность попадания в интервал  $[0, x]$ ;  $p(x)$  – плотность вероятности распределения дозы облучения.

Оценка плотности вероятности распределения дозы может быть получена по экспериментальным данным на основе соотношения

$$p_i(x_i) = \frac{h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (2)$$

где  $h_i$  – значение гистограммы распределения дозы.

Максимальная вероятная доза облучения  $x_{\max}$  и минимальная доза облучения  $x_{\min}$  определяются из соотношений

$$P_{\text{задан}} = \int_0^{x_{\max}} p(x) \cdot dx, \quad (3)$$

$$1 - P_{\text{задан}} = \int_0^{x_{\min}} p(x) \cdot dx, \quad (4)$$

где  $P_{\text{задан}} = 0,999$  заданная вероятность.

## II. Алгоритм синтеза картины ЭМП по ограниченному количеству измерений

Предлагаемый комплекс был использован для экологического мониторинга радиоизлучающих устройств, работающих в различных условиях. Дополнительной функцией комплекса, обеспечивающей пространственный мониторинг излучений в труднодоступных точках, является пространственная экстраполяция электромагнитного поля. В основу положен предложенный в [5,6] измеритель с экстраполяцией измеряемой величины. Алгоритмическое обеспечение системы состоит из алгоритмов прогноза (экстраполяции) поля и алгоритмов его визуализации. Алгоритм прогноза поля и определение дальности до точки с заданным уровнем поля состоит из следующих этапов:

- получение значения напряженности поля и его производных с помощью датчиков производных высшего порядка (ДПВП);
- осуществление грубого поиска точки с заданным уровнем излучения;
- осуществление точного поиска и определение дальности до точки с заданным уровнем поля.

Под обнаружением заданного уровня поля подразумевалось превышение заданного уровня электромагнитного поля (ЭМП) в результате прогноза с помощью ряда Тейлора. Грубый поиск осуществляется с помощью циклической подстановки в ряд значений дальности прогноза  $t_1$ :

$$B_p(t+t_1) = B(t) + B^{(1)}(t)t_1 + B^{(2)}(t)\frac{t_1^2}{2!} + \dots + B^{(i)}(t)\frac{t_1^i}{i!}, \quad (5)$$

где  $B_p$  – прогнозируемая величина поля;  $B$  – измеренное значение поля;  $i$  – номер производной.

В момент изменения знака погрешности прогноза фиксируется факт обнаружения заданного уровня. Точный поиск осуществляется с помощью подстановки в

ряд Тейлора значений дальности прогноза  $t_2$  с меньшим шагом  $\Delta t_2$ , чем в алгоритме грубого поиска  $t_2 = t_2 + \Delta t_2$ .

В момент получения прогнозного значения поля, которое равняется заданному, определяется дальность прогноза по времени  $t_{PR}$ . Фактическая (пространственная) дальность в точке с заданным уровнем поля равняется:  $D = Vt_{PR}$ , где  $t_{PR} = t_1 t_2$ .

Получение изображений (визуализация ЭМП) обусловлено необходимостью получения информации относительно результатов обнаружения и формы ЭМП.

Для решения задачи визуализации предлагается:

1. ЭМП изображать в виде изолиний с разным интервалом интенсивности, достаточным для оптимального размещения информации на экране. Пространство между изолиниями ЭМП заполнять разным цветом – от более яркого к менее яркому соответственно увеличению напряженности поля.

2. Приближение к объекту изображать в виде чередования изолиний относительно оцифрованной шкалы дальностей на каждом шаге прогнозирования.

Рассмотрим составляющие алгоритма отображения точек ЭМП на основе его экстраполяции. Алгоритм предназначен для обработки измеренных значений поля вдоль некоторой (круговой) траектории движения точки измерения. Получение производных от измеренных значений поля и построение карты поля в окрестности траектории измерения путём прогноза его значений на основе ряда Тейлора [7]. В рамках алгоритма движение точки измерения поля моделировалось с помощью следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi = \int_0^t \omega dt; \\ x = \int_0^t v_x dt; \\ y = \int_0^t v_y dt; \\ v_x = v_0 \cos \psi + v_0 \cos \psi; \\ v_y = v_0 \sin \psi + v_0 \sin \psi, \end{array} \right. \quad (6)$$

где  $x, y$  – горизонтальные координаты точки измерения поля;  $\omega$  – угловая скорость;  $\psi$  – путевой угол вектора скорости;  $v_x, v_y$  – составляющие вектора скорости;  $v_0$  – модуль вектора скорости.

При этом уравнение аномалии ЭМП имело вид

$$B = \frac{M}{(z - z_{Ц})^2 + (x - x_{Ц})^2 + (y - y_{Ц})^2}, \quad (7)$$

где  $x_{Ц}, y_{Ц}, z_{Ц}$  – декартовы координаты источника излучения;  $x, y, z$  – координаты точки измерения;  $B$  – мощность излучения;  $M$  – дипольный момент источника излучения.

Системы уравнений (6) и (7) описывают объект наблюдения и движения носителя. Ниже представлены уравнения обработки полученных данных. Прогноз направления линии визирования осуществляется на основе выражения

$$\psi_P = \psi_P(0) + \int_0^T \omega dt, \quad (8)$$

где  $\psi_P$  – прогнозируемое значение путевого угла, а прогноз поля [7]:

$$B_P = \sum_{i=1}^n y_i \frac{\Delta t}{i!}, \Delta t = 0, \dots, t_P, \quad (9)$$

где  $\Delta t$  – дальность прогноза по времени;  $y_i$  – выходные сигналы датчиков производных поля. Сами уравнения датчиков производных высшего порядка [8] имели вид:

$$\begin{cases} d_{i-1} = y_i, i = 2, \dots, n; \\ d_n = K_n [B_0 - \xi_B] - \sum_{i=1}^n K_i y_{n-1+i}; \\ y_i = \int_0^t d_i dt. \end{cases} \quad (10)$$

где  $\xi_B$  – шумы измерений;  $K_i$  – коэффициенты обратных связей датчика производных;  $d_i$  – выходные сигналы интеграторов датчика;  $d_n$  – сигнал рассогласования.

При этом изменение дальности прогноза осуществлялось на основе уравнения:

$$t_P = \int_0^T R dt, \quad (11)$$

где  $t_P$  – дальность прогноза по времени;  $R$  – масштаб ускорения времени.

Далее осуществлялся прогноз координат точки измерения:

$$\begin{cases} x_P = \int_0^T v_{XP} dt; \\ y_P = \int_0^t v_{YP} dt; \\ v_{XP} = v_0 \cos(\psi_P) + v_0 \cos(\psi_P); \\ v_{YP} = v_0 \sin(\psi_P) + v_0 \sin(\psi_P), \end{cases} \quad (12)$$

где  $x_P, y_P$  – прогнозируемые координаты точки;  $v_{XP}, v_{YP}$  – скорости точек, в которых методом прогноза отображается поле.

Порядок определения цвета точек на изображении ЭМП можно описать с помощью выражений:

$$N = \begin{cases} 8, & B_p(t) > 0.1 * B_{3AD}; \\ 7, & B_p(t) > 0.2 * B_{3AD}; \\ 6, & B_p(t) > 0.3 * B_{3AD}; \\ 4, & B_p(t) > 0.4 * B_{3AD}; \\ 12, & B_p(t) > 0.5 * B_{3AD}; \\ \dots & \\ 11, & B_p(t) > 1.3 * B_{3AD}; \\ 1, & B_p(t) > 1.4 * B_{3AD}; \\ 15, & B_p(t) > 1.5 * B_{3AD}, \end{cases} \quad (13)$$

где  $B_{3AD}$  – заданный уровень мощности поля;  $N$  – номер цвета в выбранной палитре.

Уравнение координат точки, которая отображается на изображении поля:

$$\begin{cases} x_U = x_{\text{Э}} - x_P - v_{XP} t_P; \\ y_U = y_{\text{Э}} - y_P - v_{YP} t_P, \end{cases} \quad (14)$$

где  $x_{\text{Э}}, y_{\text{Э}}$  – координаты центра изображения на экране;  $x_U, y_U$  – координаты точки, которая отображается на экране.

Изображение, полученное на основании уравнений (5)-(14), приведено на рис. 3.

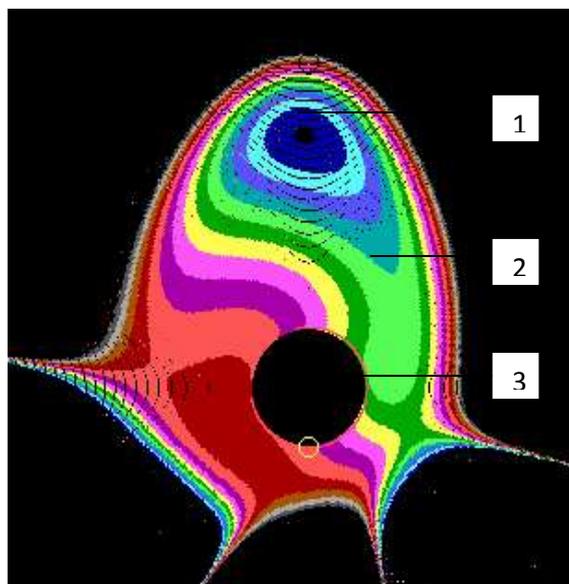


Рис. 3. Изображение (карта) ЭМП, полученное путем экстраполяции на основании ограниченного числа измерений в круговой зоне  
(1 – объект, который излучает ЭМП, 2 – область экстраполяции поля,  
3 – траектория движения измерительного прибора (траектория измерений))

## Выводы

1. В работе предложен алгоритм синтеза картины ЭМП по ограниченному количеству измерений на основе получения высших производных и прогноза поля.
2. Предложенный алгоритм визуализации ЭМП позволяет синтезировать картину его пространственного распределения на экране компьютера по ограниченному количеству измерений. Алгоритмическое обеспечение, которое предлагается, позволяет получить информацию о характере ЭМП в труднодоступных местах (например, рядом с антеннами базовых станций). Использование предложенных результатов позволит значительно сократить время измерения и обработки полученных результатов.

## Список литературы:

1. Наказ Міністерства охорони здоров'я України N 239 від 30.10.07 " Про затвердження державних санітарних правил та норм" [Електронний ресурс] // Режим доступу до матеріалу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0488-96>.
2. Мордачев В.И. Оценка экологической опасности электромагнитного поля, создаваемого средствами мобильной радиосвязи // Электросвязь. – 2007. – №9. – С. 31–41.
3. Поповский В.В., Черный С.В., Нетикова Л.И., Акулов В.Н.. Портативный измеритель мощности излучения беспроводных телекоммуникационных систем диапазона 0.1- 3.5 ГГц // МРФ-2008, Том 2 "Телекоммуникационные системы и технологии". – Х.: ХНУРЭ, 2008. – С. 218–221.
4. Чёрный С.В., Нетикова Л.И. Комплекс для экологического мониторинга беспроводных телекоммуникационных устройств и бытовых СВЧ-приборов // Радиотехника. – 2009. – Вып. 156. – С. 42–44.
5. Чорний С.В., Червоний О.С. Алгоритмічне забезпечення викриття об'єктів за їх аномальними магнітними полями // Харківський інститут льотчиків ВПС. Збірник наукових праць. Вип. 2. – Х: ХІІ ВПС, 1997. – С. 146–150.
6. Черный С.В., Казьмин А.В. Измеритель магнитного поля // а.с. СССР №1622861, МКИ G01R 33/02, 23.01.91, бюл. №3.
7. Черный С.В. Измерение расстояний на движущихся объектах методом прогноза физических полей // Системы обработки информации: Збірник наукових праць. – Х.: ХВУ, 2002. Вип. 3 (19). – С. 238–243.
8. Черный С.В. Анализ измерителя высших производных с существенно нелинейным устройством сравнения методом полигармонической линеаризации // Системы обработки информации: Збірник наукових праць. – Х.: ХВУ, 2002. Вип. 1 (17). – С. 236–239.