

# ЭКОЛОГИЯ

Графкина М. В., д-р техн. наук, проф.,  
 Нюнин Б. Н., д-р техн. наук, проф.,  
 Свиридова Е. Ю., канд. техн. наук, проф.

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ИСТОЧНИКА НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

evg\_sviridova@mail.ru

Статья посвящена актуальной теме – исследованию низкочастотных электромагнитных полей.

По аналогии с волновыми процессами звукового поля, теоретически показана возможность определения энергетических параметров низкочастотного электромагнитного поля: комплексной, активной и реактивной интенсивности. Создана измерительная установка и проведены эксперименты по определению активной составляющей интенсивности в ближней зоне источника электромагнитного поля.

**Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, энергетические параметры, комплексная интенсивность, активная интенсивность, реактивная интенсивность, ближняя зона, интенсивнострические измерения.

Одним из негативных факторов урбанизированных территорий, оказывающим неблагоприятное воздействие на здоровье человека, является низкочастотное электромагнитное поле (ЭМП). Основными источниками низкочастотных ЭМП являются линии электропередачи, силовые трансформаторные подстанции, воздушные электрические сети, транспорт, кабели электропитания др.

В настоящее время при электромагнитном мониторинге не принято измерять интенсивность низкочастотного электромагнитного поля (ЭМП) в ближней зоне источника излучения. При этом для определения энергетических параметров шума в ближней зоне источника существуют методики компании «Брюль и Кьер».

Учитывая схожесть волновых процессов, происходящих в звуковом и электромагнитном поле, и имея определенные наработки в данной области [1-3], авторы провели эксперименты по интенсивнострическим измерениям в ближней зоне источника низкочастотного ЭМП.

В ближней зоне ЭМП происходит два качественно различных в энергетическом отношении процесса. Первый процесс – это процесс периодического обмена энергией между источником энергии и ближней зоной (реактивная интенсивность  $I_r$ ). Энергия то забирается от источника и накапливается в электромагнитном поле ближней зоны, то отдается обратно источнику.

Второй процесс – это процесс излучения энергии (активная интенсивность  $I_a$ ). Он характеризует волновой процесс в ближней зоне. Излучаемая энергия составляет относительно небольшую величину по сравнению с энергией, периодически накапливаемой в электромагнитном поле ближней зоны и затем отдаваемой источнику питания. [4]

Как и в общей теории волновых процессов, в теории электромагнитного поля существует понятие комплексной интенсивности, включающей в себя активную и реактивную составляющие:

$$\vec{I}_k = \vec{I}_a + i\vec{I}_r, \quad (1)$$

где  $\vec{I}_a$  - вектор активной интенсивности ЭМП,  $\frac{Wm}{m^2}$ ;  $\vec{I}_r$  - вектор реактивной интенсивности ЭМП,  $\frac{Wm}{m^2}$ .

Комплексная интенсивность может быть определена с помощью функции взаимного спектра, где амплитуда взаимного спектра равна произведению амплитуд обоих мгновенных спектров, а его фазовый угол равен разности присущих этим взаимным спектрам фазовых углов. [5]

Взаимный спектр вычисляется умножением одного спектра на комплексное сопряжение второго спектра. Комплексно сопряженная вели-

чина определяется согласно векторной диаграмме, представленной на рисунке 1.

Взаимный спектр является комплексной величиной (имеет как действительные, так и мнимые составляющие). Амплитуда взаимного

спектра характеризует полную энергию ЭМП в заданной точке, а фаза представляет разность фаз между напряженностью электрического и напряженностью магнитного поля.

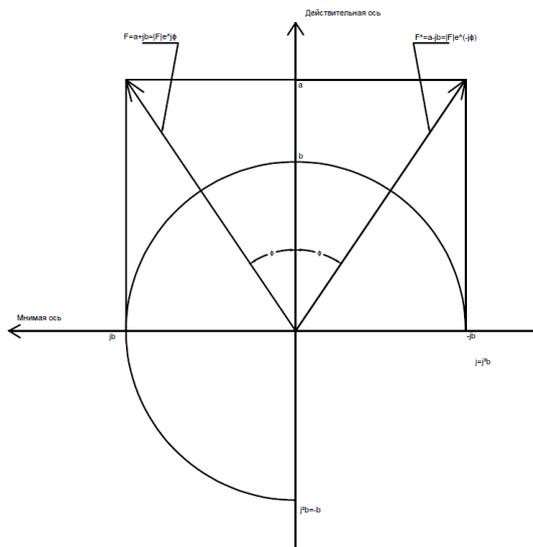


Рис. 1. Представление комплексно сопряженной величины на векторной диаграмме  
Комплексная интенсивность ЭМП таким образом равна:

$$F = a + j|E|^2|H| \quad (2)$$

где  $E$  - напряженность электрического поля, В/м;  $H$  - напряженность магнитного поля, А/м;  $H^*$  - комплексно сопряженная величина напряженности магнитного поля, А/м.

В выражении (2) присутствует как действительная и мнимая части интенсивности электромагнитного поля. Действительная часть взаимного спектра называется «совпадающим (коинцидентным) спектром» или «ко спектром», а его мнимая часть имеет обозначение «сдвину-

тый (квадратурный) спектр» или «квад-спектр». [5]

При усреднении по времени (за период) реактивная интенсивность обращается в ноль, остается только активная интенсивность, которая может быть измерена.

Для определения реактивной интенсивности добавляется  $90^\circ$  к начальной фазе напряженности электрического поля и на выходе анализатора спектра получается ее значение:

$$I_a = \frac{1}{2} |F + jF^*| \quad (3)$$

где  $I_a$  - активная интенсивность ЭМП,  $\frac{Вт}{м^2}$  ;  
 $I_i$  - реактивная интенсивность ЭМП,  $\frac{Вт}{м^2}$  ;  $\varphi_E$  - начальная фаза напряженности электрического поля, град.

Таким образом, в любой точке низкочастотного ЭМП можно определить комплексную интенсивность — энергетический параметр ЭМП.

Авторами были проведены экспериментальные измерения активной интенсивности низкочастотного ЭМП. Разработана измерительная система, которая состояла из антенн измерительные Пб-70 и Пб-71, октафона, звуковой карты (рисунок 2), а также двухканального анализатора спектра (SpectralLAB).



Рис. 2. Измерительное оборудование для определения интенсивности ЭМП

При проведении интенсивметрических измерений вблизи кабеля электропитания, являющегося источником ЭМП промышленной частоты, одновременно измерялись напряженности электрического и магнитного полей, после этого преобразованный с помощью звуковой карты сигнал передавался на анализатор спектра и определялась активная интенсивность в относительных единицах. При этом угол между антеннами составлял 90 градусов; антенна Пб-70, измеряющая напряженность магнитного поля,

устанавливалась параллельно электрическому проводу; антенна Пб-71, измеряющая напряженность электрического поля, перпендикулярно ему. В результате эксперимента был получен спектр активной интенсивности низкочастотного ЭМП в ближней зоне источника излучения (рисунок 3).

Знак вектора активной интенсивности на частоте 50 Гц указывает на то, что энергия распространяется от электрического провода (источника ЭМП).

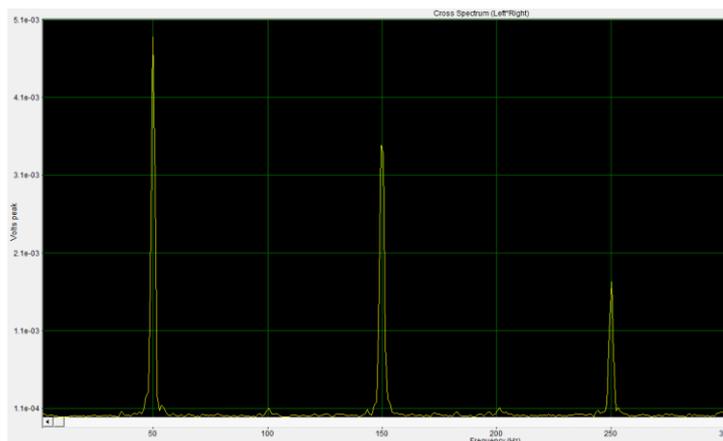


Рис. 3. Спектр активной интенсивности низкочастотного ЭМП в ближней зоне источника излучения

Определение активной интенсивности ЭМП позволит найти направление на источник излучения и разработать наиболее эффективные методы защиты.

В настоящее время нормирование низкочастотных электромагнитных полей осуществляется отдельно по напряженности электрического и магнитного поля, что не дает представления об общей энергетической картине ЭМП и не позволяет объективно оценить его негативное влияние.

Дальнейшие исследования комплексной интенсивности позволят определить суммарное энергетическое воздействие ЭМП и предложить новую систему нормирования низкочастотных ЭМП по энергетическим параметрам.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Графкина М.В., Нюнин Б.Н., Свиридова Е.Ю., Теряева Е.П. Развитие системы экологи-

ческого мониторинга электромагнитных и инфразвуковых низкочастотных полей на застроенных территориях [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru). (дата обращения: 11.10.2013)

2. Графкина М.В., Нюнин Б.Н., Свиридова Е.Ю. Совершенствование системы мониторинга электромагнитной безопасности жилых помещений // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова, 2013. №4. С.40-42.

3. Графкина М.В., Нюнин Б.Н., Свиридова Е.Ю. Теоретические предпосылки мониторинга активной и реактивной интенсивности низкочастотных электромагнитных полей // Вестник МГСУ. 2013. № 5. С. 112-117.

4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: электромагнитное поле. М.: Высшая школа, 1978. 231 с.

5. Брюль и Кьер. Частотный анализ. Дания, 2001. 389 с.