

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНУ ЗГАСАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ  
В РЕАЛЬНИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.  
МЕТОДИКА ОБРОБКИ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ**

*Г. Ф. Конахович, В. М. Бабенко, А. В. Карпов, В. І. Корчук*

Національний авіаційний університет

kszi@ukr.net

*Досліджено закон згасання електромагнітного поля в реальних умовах експлуатації залежно від частоти випромінювання. Наведено методи апроксимації, які використовувалися для обробки отриманих результатів.*

*Research of the law of fading of an electromagnetic field in real conditions of operation depending on frequency of radiation is presented. Methods of approximation which were used for processing the received results are presented.*

### Постановка проблеми

На сьогодні немає моделі яка б могла чітко описати поширення електромагнітного поля в будь-яких умовах. Нині існують різні моделі, що так чи інакше самі є апроксимацією реального каналу. Для побудови комплексних систем захисту інформації необхідно знати як поширюється електромагнітне поле від того чи іншого джерела.

### Аналіз досліджень та публікацій

Стаття цікава практичними результатами вимірів поширення електромагнітного поля в реальних умовах типового приміщення, оскільки наразі не існує чітких залежностей, які б описували розповсюдження поля. Також було створено інтерполяційну квазімодель розрахунку коефіцієнта згасання електромагнітного поля залежно від частоти випромінювання. Ця модель дає змогу визначити значення коефіцієнта загасання електромагнітного поля на будь-якій частоті з визначеного діапазону.

Наведені результати можуть бути використані широким колом фахівців, що працюють у сфері захисту інформації.

### Мета дослідження

Мета — представлення графічної залежності поширення електромагнітного поля, на основі якої проведено, за допомогою апроксимації, розрахунок залежності коефіцієнта загасання від частоти поширення поля, що дасть змогу створити інтерполяційну квазімодель.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Серед можливих каналів витoku інформації, що підлягають захисту, окреме місце займає канал витoku за рахунок побічних електромагнітних випромінювань. Це визначається тим фактом, що майже кожен електротехнічний пристрій у процесі роботи випромінює в простір електромагнітні хвилі, так або інакше пов'язані з його функціонуванням. Джерелами випромінювання сигналу можуть бути різні елементи виробу, що здійснюють обробку інформації. З метою дослідження закону згасання електромагнітного поля в реальних умовах був проведений практичний експеримент. Як джерело випромінювання досліджувалася комп'ютер типу IBM PC/AT (зокрема монітор). Він розміщувався на другому поверсі будівлі, план якої подано на рис. 1.

© Г.Ф. Конахович, В.М. Бабенко, А.В. Карпов, В.І. Корчук, 2009

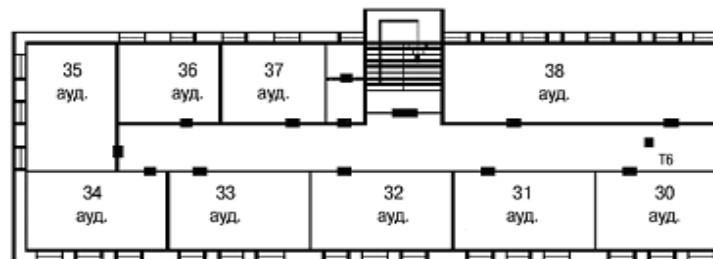


Рис. 1. План будівлі

Корпус триповерховий, блочно-панельний, висота кожного поверху з урахуванням міжповерхових перекриттів — 4 м. У приміщеннях будівлі розташовано робочі письмові столи, а також контрольно-вимірювальна апаратура. Комп'ютер розміщено на робочому столі на відстані 1 м від вікна. На рисунку місце розташування досліджуваного джерела випромінювання позначено літерою «Д».

Проводилися вимірювання напруженості електромагнітного поля на різних відстанях від

джерела випромінювання. На рис. 1 символами  $T_i$  позначено точки проведення вимірювань.

Напруженість електромагнітного поля, що створюється досліджуваним джерелом, фіксувалася за допомогою набору каліброваних антен, підключених до входу вимірювального приймача. Як вимірювальний приймач використовувався селективний мікровольтметр типу SMV-8.

Вимірювання сигналів проводилися на таких частотах [1]:

- 30 МГц (частота K1);
- 50 МГц (частота K2);
- 100 МГц (частота K3);
- 130 МГц (частота K4);
- 150 МГц (частота K5);
- 185 МГц (частота K6);
- 230 МГц (частота K7);
- 300 МГц (частота K8).

Коефіцієнт загасання поля було розраховано за формулою:

$$K = \lg(E_d/E_0), \quad (1)$$

де  $K$  — коефіцієнт загасання електромагнітного поля, що створюється досліджуваним джерелом випромінювання;  $E_0$  — напруженість електромагнітного поля, виміряна на відстані 0,5 м від джерела;  $E_d$  — напруженість електромагнітного поля, виміряна на відстані  $d$  від джерела випромінювання.

Результати експериментальних досліджень подано на рис. 2.

На основі цих вимірювань виконано дослідження залежності коефіцієнта загасання електромагнітного поля від частоти. Розрахунки проведемо за результатами вимірювання, зробленими в точці  $T_2$  (8 м від джерела). Отримані дані наведено у вигляді таблиці.

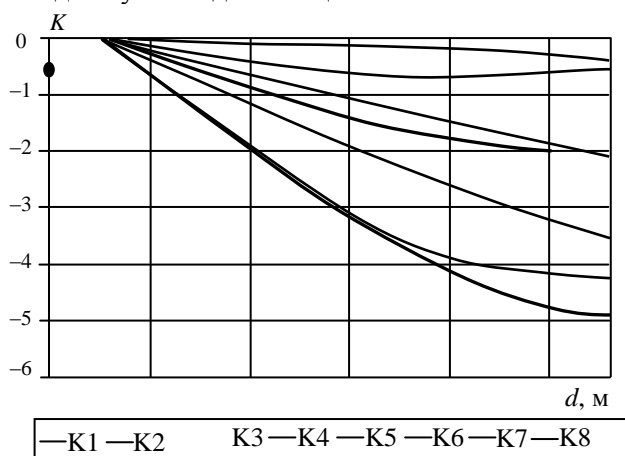


Рис. 2. Результати загасання поля

Частота випромінювання джерела, МГц	Значення втрат сигналу між суміжними поверхнями, дБ
30	6,1
50	4,0
100	5,3
130	1,0
150	3,2
185	4,9
230	4,1
300	2,5

Обробку результатів проведемо за допомогою апроксимації. У цій статті було використано два методи апроксимації: сплайн-апроксимація та апроксимація поліномами вищих степенів.

Суть апроксимації поліномами вищих степенів полягає в тому, що здійснюється спеціальний підбір лінійної комбінації степеневих виразів і конструювання з них степеневого полінома, який найкраще наближає (апроксимує) таблично задану функцію. У математиці похибку апроксимації часто оцінюють за методом найменших квадратів. Тому часто поліноміальну апроксимацію називають апроксимацією по методу найменших квадратів. Згідно з методом найменших квадратів потрібно побудувати такий апроксимуючий поліном, щоб алгебрична сума квадратів відхилень (похибок) між табличними значеннями функції і її значеннями, розрахованими за допомогою полінома, що наближає, була мінімальною.

Точність поліноміальної апроксимації катастрофічно знижується в разі збільшення степеня апроксимуючих поліномів. Від цього недоліку можна позбавитися, використовуючи для апроксимації відрізки поліномів невисокої степені, які використовуються для представлення частини вузлових точок. Найвідомішим методом такої апроксимації є сплайн-апроксимація.

Наочно сплайн-функцію можна представити у вигляді гнучкої сталевий лінійки, що закріплена у вузлових точках і плавно згинається.

Завдяки вказаним властивостям сплайнів вони непогано описують функції, подані невеликою кількістю вузлових точок (завдяки плавності сплайн-кривих), так і функції, що представляються дуже великим числом вузлових точок (оскільки порядок поліномів від цього числа вже не залежить).

Недоліком сплайн-апроксимації є відсутність загального вираження для всієї кривої.

Фактично доводиться використовувати набір сплайн-функцій для різних інтервалів між вузловими точками.

Сплайн-апроксимація [2]:

$$vA_i = f_i,$$

де  $f_i$  — масив значень частоти випромінювання;

$$vB_i = k_i,$$

де  $k_i$  — масив значень коефіцієнта загасання поля;

$$b = cspline(vA, vB),$$

де  $b$  — функція апроксимації;

$$spline(x) = \text{int } \text{erp}(b, vA, vB, x),$$

де  $spline(x)$  — інтерполяція апроксимації;

$$y(x) = 20 \lg(spline(x)),$$

де  $y(x)$  — апроксимована залежність коефіцієнта загасання електромагнітного поля від частоти.

Апроксимація поліномами вищих степенів [3]:

$$C = \inf it(vA, vB, F),$$

де  $C$  — коефіцієнт поліномів вищих степенів;  
 $vA$  — масив значень частоти випромінювання;  
 $vB$  — масив значень коефіцієнта загасання поля;

$F$  — поліном вищих степенів.

$$L(r) = F(r)C,$$

де  $L(r)$  — функція апроксимації.

Подамо на рис. 3 результати апроксимацій.

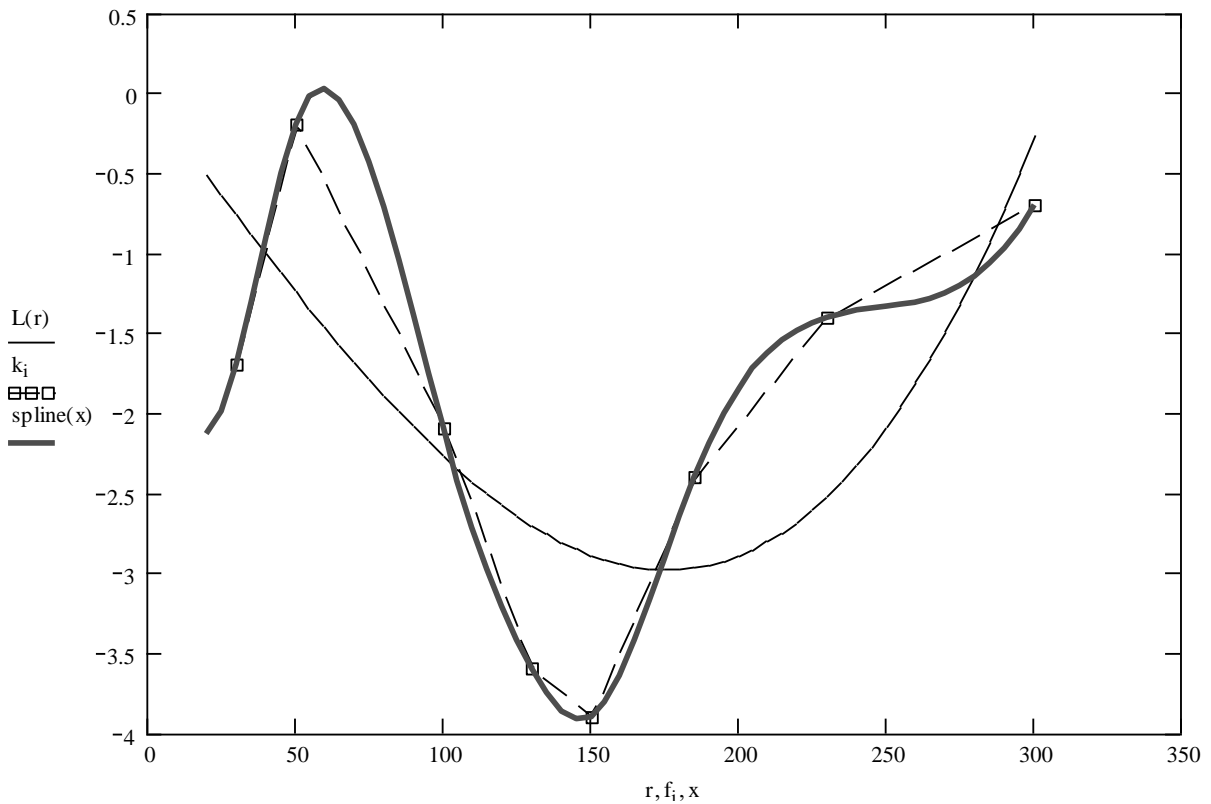


Рис. 3. Результати апроксимації вимірювань

Сплайн-апроксимація більш наближена до реальних значень, ніж апроксимація поліномів вищих степенів. Вона дає можливість більш чітко визначити значення коефіцієнта загасання поля за значенням частоти випромінювання поля.

Завдяки використанню інтерполяції можна передбачити будь-яке значення коефіцієнта загасання поля від частоти, відстані у вимірюваному діапазоні частот (30—300 МГц).

Проте ці значення є дійсними лише для даного приміщення.

Для створення більш загальної моделі необхідно провести більшу кількість вимірювань у більшому діапазоні частот.

Наша модель не може бути загальною, тому що закон загасання електромагнітного поля різний для різних джерел. Це твердження правильне навіть для однакових з погляду виробництва пристроїв. Ця відмінність, у свою чергу, зумовлена фізичними розбіжностями в параметрах елементної бази самого пристрою, можливістю вживання в однотипних пристроях елементів, що відрізняються один від одного другорядними параметрами, що не впливають на працездатність виробу, відмінністю у взаємному розташуванні з'єднаних елементів (наприклад, при установці окремих плат у роз'єм материнської плати

комп'ютера, або ж при з'єднанні окремих вузлів виробу за допомогою гнучких кабелів). При цьому характер випромінювання від виробу може змінюватися в часі.

Закон загасання поля в просторі залежить від ряду зовнішніх чинників. Найявніші у просторі, що оточує джерело випромінювання, сторонніх тіл зумовлює прояв таких явищ, як:

- екранування;
- перевипромінення;
- дифракція.

### Висновки

Наведена модель називається квазі, тому що вона не може бути використана для будь-яких умов поширення електромагнітного поля. Вона є дійсною лише для нашого конкретного випадку, але її можна використати для створення універсальних моделей. Вважатимемо це початком створення більш складних закономірностей поширення електромагнітного поля.

Результати розрахунків залежать від точності вимірювальної апаратури, розміщення джерела, характеристик будівлі, вимірювальної апаратури. У свою чергу, від ефективності розрахунків залежить якість комплексу систем захисту інформації.

Подана модель може бути повною для діапазону від 30 до 300 МГц, тому що вона може з

невеликим відхиленням показати значення у певному діапазоні, але вона не є цілком достовірною, оскільки для отримання даних фіксувалося значення поля, отримане в результаті суперпозиції електромагнітних полів.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. *Горячев С. В.* Об исследованиях закона убы-

вания электромагнитного поля в реальных условиях эксплуатации / С. В. Горячев.

2. <http://www.realcoding.net/teach/Maple7/Glava%209/Index23.htm>

3. *Косарев В. И.* 12 лекций по вычислительной математике / В. И. Косарев. — М. : Изд-во МФТИ, 2000. — 224 с.

Стаття надійшла до редакції 08.12.09.