

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

УДК: 621.371.31(045)

В. О. Іванов, д-р техн. наук, проф.,
В. В. Соколов, студ.**ЧАСТОТНО-ПРОСТОРОВЕ ПОДАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВТРАТ ПІД ЧАС ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ**

Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

На основі розробленого програмного забезпечення досліджено деякі відомі емпіричні моделі втрат, якими супроводжується поширення радіохвиль у реальних середовищах. Виявлено й надано у вигляді графіків функціональні залежності частоти несучої від довжини траси для допустимих значень втрат радіосигналів і радіозавад, які необхідно враховувати для забезпечення електромагнітної сумісності незалежних радіосистем. Отримані графіки дозволяють спростити процедури частотно-просторового планування мереж радіозв'язку, які мають бути розміщені на обмеженій території.

Ключові слова: втрати, якими супроводжується поширення радіохвиль, подібність утрат, частотно-просторове планування.

Вступ та постановка завдання. Радіохвилі, що збуджуються антенами радіопередавачів, є корисними сигналами для одних радіоприймачів, але водночас можуть виявитися неприпустимими небажаними радіозавадами для інших. При цьому окремі незалежні радіоелектронні пристрої за певних умов стають взаємно несумісними, тобто «антагоністичними» об'єктами. Одним з методів забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) у групуванні незалежних радіоелектронних пристроїв, розташованих на обмеженій території, є їх упорядковане частотно-територіальне рознесення (ЧТР). Упорядковувати ЧТР незалежних радіоелектронних пристроїв можна на засадах відомих критеріїв ЕМС, наприклад, на основі відомого захисного відношення Q_0 на вході радіоприймального пристрою (у децибелах). Захисне відношення залежить від класів випромінювань радіопередавачів, потужності яких зіставляються на вході радіоприймального пристрою [1]. Рівні потужностей визначаються на основі відомих багатофакторних математичних моделей енергетичних втрат $L_0(f_j, d_{ij})$, якими супроводжується поширення радіохвиль на відстань d_{ij} від точки розміщення антени j -го радіопередавача, що працює на частоті f_j , до точки розміщення антени i -го радіоприймального пристрою, налаштованого на частоту f_i . Якщо відомі вихідні потужності P_j і класи випромінювань усіх радіопередавачів у групуванні радіоелектронних пристроїв, захисні відношення та чутливості радіоприймальних пристроїв, частотні та просторові характеристики антен радіопередавачів й радіоприймачів, типи підстильних поверхонь на локальних трасах поширення радіохвиль, то можна виконати ЧТР радіоелектронних пристроїв [2; 3]. Частотно-територіальному рознесенню передують частотно-просторове планування (ЧПП) у межах обмеженої території. Сутність ЧПП полягає у попередньому аналізі обраної математичної моделі енергетичних втрат L_{0ij} , дБ. Безпосереднє визначення втрат L_{0ij} за обраними моделями поширення радіохвиль потребує виконання числових однотипних розрахунків, на підставі яких визначають зовнішнє поширення радіохвиль, тобто виявляють функціональні залежності типів $L_{0ij}(f_j)$ за постійного значення d_{ij} , або $L_{0ij}(d_{ij})$ за постійної f_j . Спростити процедури ЧПП деякої кількості незалежних радіоелектронних пристроїв, розміщених на обмеженій території, можна, якщо відомі їх просторово-частотні $d(f)$ або частотно-просторові $f(d)$ залежності

для декількох значень втрат $L_{0ij} = \text{const}$ під час поширення радіохвиль. Ці залежності можна вважати розв'язками внутрішньої задачі поширення радіохвиль. Тому метою роботи є розв'язання внутрішньої задачі поширення радіохвиль у лінії радіозв'язку і подання його у вигляді графічних подібностей $d_{ij}(f_j)$ або $f_j(d_{ij})$ обраних математичних моделей енергетичних втрат для їх окремих значень $L_{0ij} = \text{const}$ за інших рівних умов у системі координат: відстань – частота.

Графічні подібності математичних моделей втрат під час поширення радіохвиль. Відомі математичні моделі енергетичних втрат $L_0(f, d, \dots)$, якими супроводжується поширення радіохвиль у реальних середовищах, ґрунтуються на результатах оброблення значного масиву експериментальних даних. Вони надаються у вигляді емпіричних співвідношень складної структури, які супроводжуються низкою обмежень на умови їх застосування [2; 3]. Всі моделі мають власні назви, які вказують на авторські пріоритети. Моделі є функціями багатьох аргументів (частоти несучої f , довжини радіотраси d та ступенем її урбанізації, характеристик антенних пристроїв, геофізичних особливостей підстильної поверхні) і містять декілька різних вагових коефіцієнтів. Тому конкретну математичну модель втрат дослідник обирає з урахуванням виду радіотраси, частотного діапазону, висот розташування антен та інших обставин.

Більшість моделей втрат під час поширення радіохвиль можна умовно підрозділити на дві групи: До першої групи належать такі, на основі яких визначаються втрати в урбанізованих середовищах (табл. 1), а до другої – моделі, в яких враховуються лише природні особливості ландшафтів (табл. 2). За інших рівних умов енергетичні втрати $L_0(f, d, \dots)$ у середовищах першої групи суттєво перевищують втрати у середовищах другої групи.

Таблиця 1

Умови застосування моделей втрат першої групи

Номер моделі	Назва моделі	Діапазон частот, МГц	Довжина траси, км	Висота підвісу антени радіопередавача, м	Висота підвісу антени радіоприймача, м
1	Хата-Окамури	150 – 1500	1 – 20	30 – 200	1 – 10
2	Хата для довгих відстаней	150 – 1500	20 – 100	30 – 200	1 – 10
3	Хата ITU-R	150 – 1500	1 – 20	30 – 200	1 – 10
4	Хата Cost 231	1500 – 2000	1 – 10	30 – 200	1 – 10
5	Хата-Девідсона	150 – 1500	1 – 300	30 – 1500	1 – 10
6	Уолфріша-Ікегамі	800 – 2000	0,02 – 5	4 – 50	1 – 3
7	Окамури	150 – 1920	1 – 100	30 – 100	1 – 10
8	ECC 33	150 – 1920	1 – 100	30 – 100	1 – 10
9	Wideband Microcell	150 – 1920	0,001 – 1	3 – 15	1 – 3
10	SUI	2500 – 3500	0,001 – 1	10 – 80	1 – 10

Таблиця 2

Умови застосування моделей втрат другої групи

Номер моделі	Назва моделі	Діапазон частот, МГц	Довжина траси, км	Висота підвісу антени радіопередавача, м	Висота підвісу антени радіоприймача, м
1	ITM NTIA	20 – 20000	1 – 2000	0,5 – 3000	0,5 – 3000
2	Лінійна модель (ITU-1546)	30 – 3000	0,001 – 500	10 – 500	1 – 500

Структурні особливості будь-якої емпіричної моделі втрат з наведених у табл. 1 і 2, є такими, що без попередніх розрахунків складно уявити графічний вигляд сімей відповідних просторових функціональних залежностей типу $L_{0ij}(d_{ij})|_{\text{при } f_j = \text{const.}}$ та частотних залежностей типу $L_{0ij}(f_j)|_{\text{при } d_{ij} = \text{const.}}$, де $i, j = 1, 2, \dots$. Такі залежності будують методом прямих розрахунків за вже відомих інших умов, які враховані в математичних моделях втрат під час поширення радіохвиль. Однак при забезпеченні електромагнітної сумісності незалежних радіосистем, які необхідно розмістити на обмеженій території, рівні сигналів та радіозавод на входах відповідних i -х РПП мають відповідати відомим захисним відношенням Q_{0i} , що визначаються класами радіовипромінювань, наявних у точці спостереження. При цьому аргументи f і d функцій $L_0(f, d, \dots)$ стають взаємозалежними, тобто конкретну модель втрат $L_0(f, d)$ можна розглядати як одне рівняння з двома невідомими. Множину розв'язків цього рівняння можна надати у вигляді окремих графічних подібностей $d_{ij}(f_j)|_{\text{при } L_{0ij} = \text{const.}}$ або $f_j(d_{ij})|_{\text{при } L_{0ij} = \text{const.}}$ втрат $L_0(f, d)$ під час поширення радіохвиль (рис. 1 – 6). Ці подібності є розв'язками внутрішньої задачі поширення радіохвиль, наданими у графічній формі, і відображають результати ЧПП радіоелектронних пристроїв за інших рівних умов.

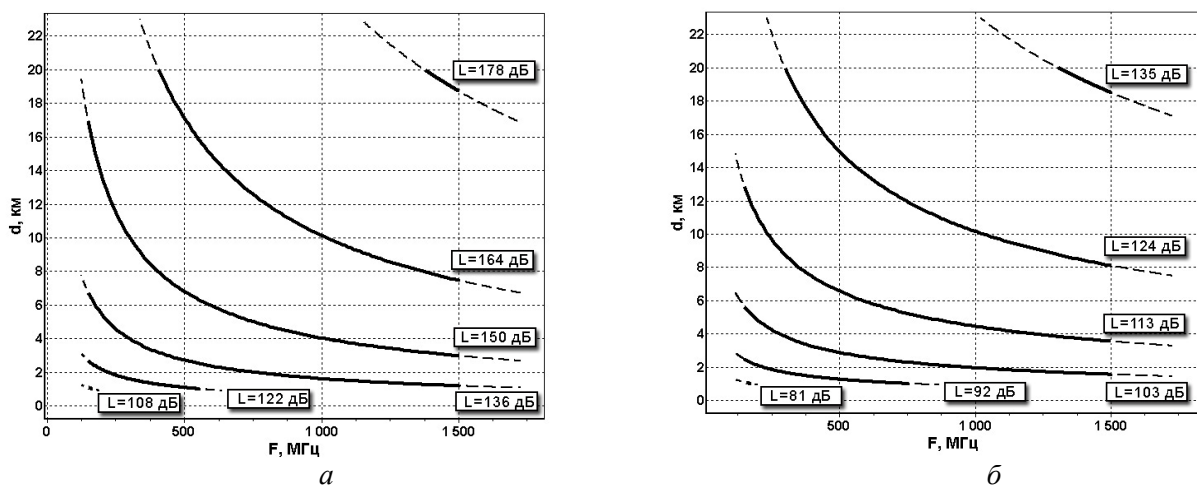


Рис. 1. Результати частотно-просторового планування за моделлю Хата-Отamura

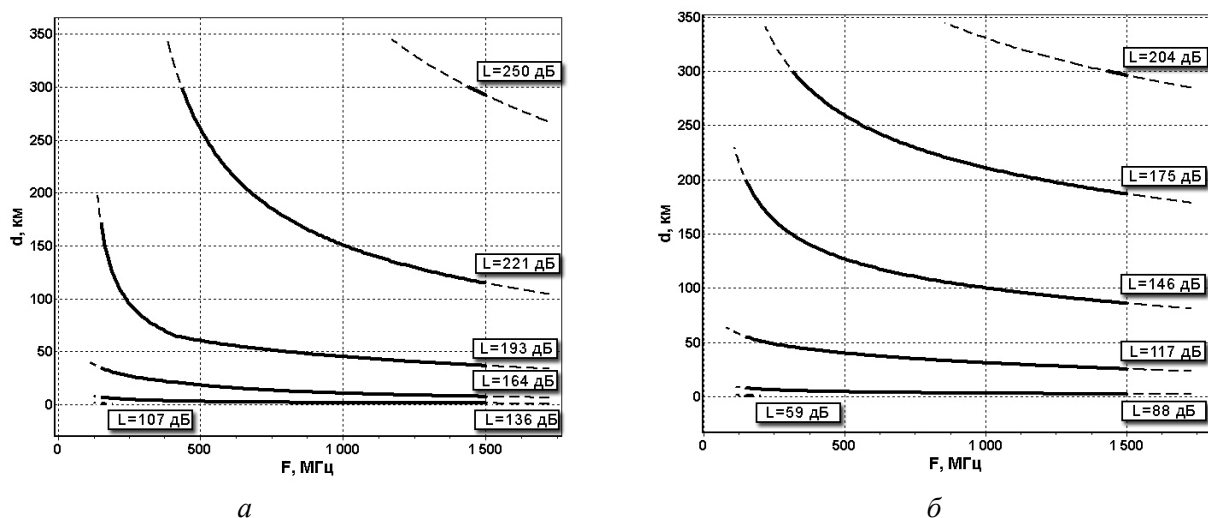


Рис. 2. Результати частотно-просторового планування за моделлю Хата-Девідсона

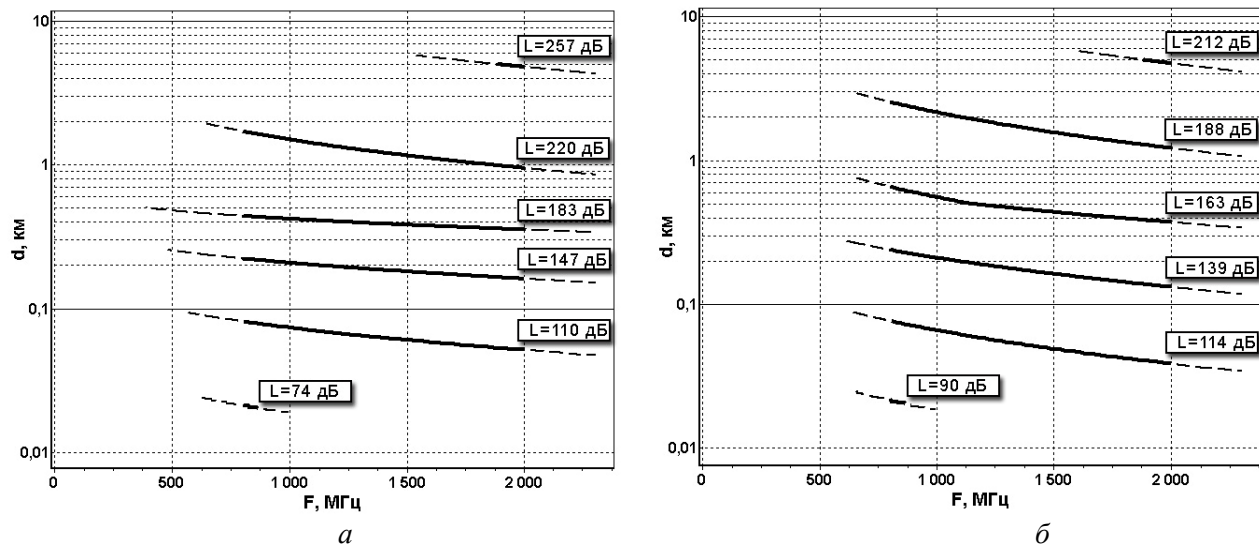


Рис. 3. Результати частотно-просторового планування за моделлю Уолфріша-Ікегамі

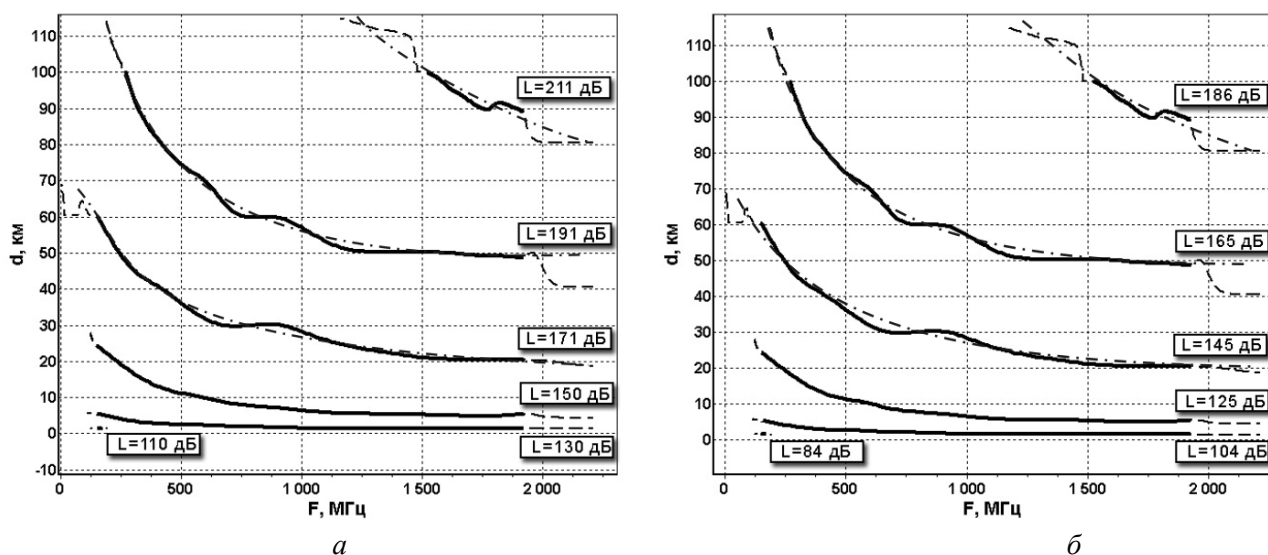


Рис. 4. Результати частотно-просторового планування за моделлю Окамури

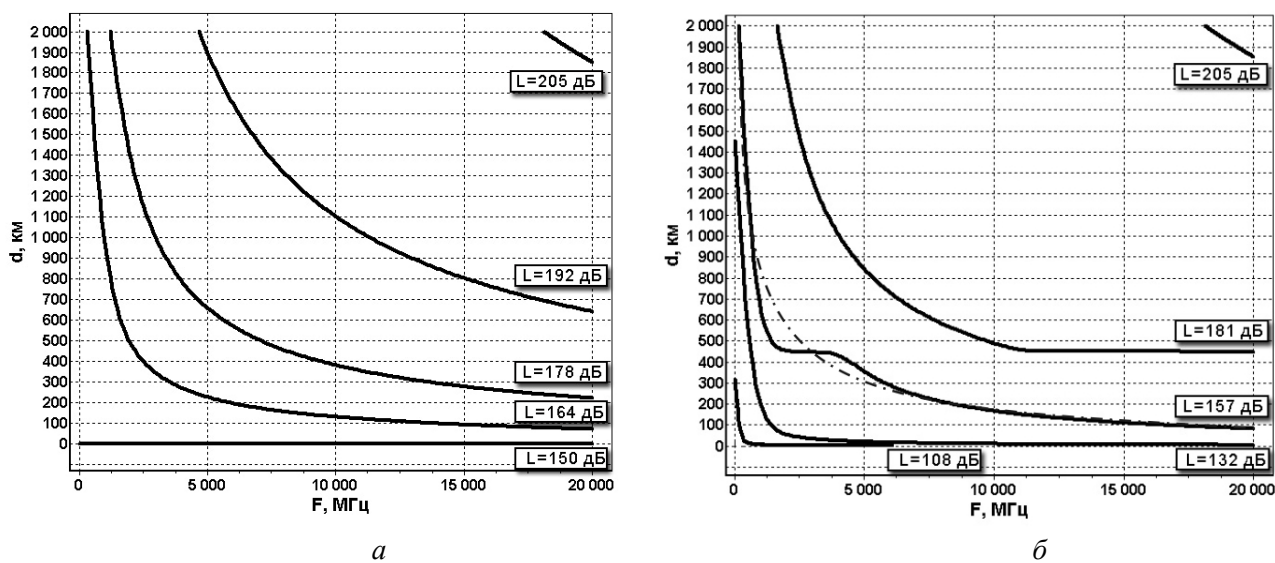


Рис. 5. Результати ЧПП за моделлю ITM NTIA

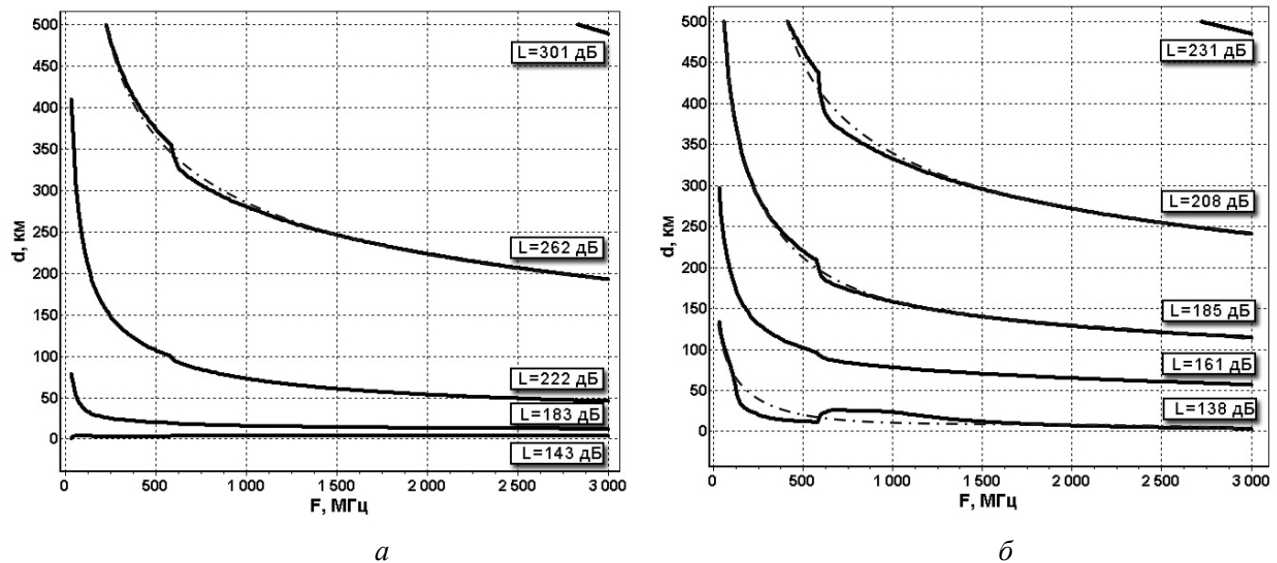


Рис. 6. Результати частотно-просторового планування за моделлю ITU-1546

Вказані залежності отримано із застосуванням спеціально розробленої програми. Результати розрахунків, необхідних для ЧПП, наприклад мереж радіозв'язку, для декількох моделей втрат під час поширення радіохвиль у різних геофізичних умовах, зображено на рис. 1 – 6 у вигляді графічних залежностей для випадків: *a* – висоти підвісу антен мінімальні, *б* – висоти підвісу антен максимальні.

Значення мінімальних та максимальних висот підвісу антен радіопередавачів та радіоприймачів зведено до табл. 1 і 2.

Графіки, що зображені на рисунках суцільною лінією, відповідають розрахункам у межах визначення моделі поширення радіохвиль, тобто для заданих діапазонів частот і відстаней; штриховою лінією зображено графіки, які розраховано згідно з цією моделлю, але виходять за межі визначення, а штрихпунктирною лінією – згладжені графіки.

Графічні подібності математичних моделей 2 – 4 втрат під час поширення радіохвиль за формою ідентичні математичним моделям 1 та 5 (табл. 1), які показано на рис. 1. та 2 відповідно.

Графічні подібності інших математичних моделей втрат під час поширення радіохвиль можна отримати, наприклад, застосовуючи розроблене програмне забезпечення відповідних обчислювань.

Отримані графічні залежності є необхідними проміжними результатами у процедурах здійснення ЧТР незалежних радіоелектронних пристроїв різного призначення [4].

Висновки. На основі відомих математичних моделей енергетичних втрат $L_0(f, d, \dots)$, якими супроводжується поширення радіохвиль:

– побудовано графічні подібності математичних моделей втрат у системі координат: відстань – частота;

– встановлено, що просторово-частотні подібності функціональних залежностей типу $d_{ij}(f_j) \Big|_{\text{при } L_{0ij} = \text{const.}}$, або частотно-просторові подібності функціональних залежностей типу $f_j(d_{ij}) \Big|_{\text{при } L_{0ij} = \text{const.}}$, є варіантами можливих частотно-територіальних рознесення двох незалежних радіоелектронних пристроїв за їх одночасної роботи;

– графічні подібності $d_{ij}(f_j)$ або $f_j(d_{ij})$ математичних моделей енергетичних втрат під час поширення радіохвиль L_{0ij} є нелінійними функціями своїх аргументів, що призводить до різних рекомендацій щодо раціонального частотно-просторового планування та частотно-

територіального рознесення незалежних радіоелектронних пристроїв, якщо частоту джерела невідомої радіозавади f_j або відстань від нього до i -го радіоприймача d_{ij} , налаштованого на частоту f_i змінювати в однаковому процентному відношенні.

Список літератури

1. МСЭ. Справочник по управлению использованием спектра на национальном уровне. Бюро радиосвязи. – Женева, 1955. – 144 с.
2. Кирюшин Г. В. Проектирование, развитие и электромагнитная безопасность сетей сотовой связи стандарта GSM / Г. В. Кирюшин, О. Н. Маслов, В. Г. Шаталов. – М.: Радио и связь, 2000. – 148 с.
3. Гавриленко В. Г. Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи / В. Г. Гавриленко, В. А. Яшнов. – Нижний Новгород: НГУ, 2003. – 148 с.
4. Иванов В. О. Умови забезпечення електромагнітної сумісності у групуванні радіоелектронних систем / В. О. Иванов, Л. В. Сібрук, О. В. Куленко // Електроніка та системи управління. – 2009. – 1(19). – С. 76 – 81.

В. А. Иванов, В. В. Соколов

Частотно-пространственное представление математических моделей энергетических потерь при распространении радиоволн

На основе разработанного программного обеспечения исследованы некоторые известные эмпирические модели потерь, которыми сопровождается распространение радиоволн в реальных средах. Выявлены и представлены в виде графиков функциональные зависимости частоты несущей от протяженности трассы для допустимых значений потерь радиосигналов и радиопомех, которые необходимо учитывать при обеспечении электромагнитной совместимости независимых радиосистем. Полученные графики позволяют упростить процедуры частотно-территориального планирования сетей радиосвязи, которые необходимо разместить на ограниченной территории.

V. A. Ivanov, V. V. Sokolov

Frequency-spatial representation of mathematical models of energy loss during radiowave propagation

Some known empirical models of losses connected with radiowave propagation in real environments are investigated on the basis of the developed software tools. Relationships between the carrier frequency and the length of the wave propagation line are obtained and presented in a graphical form. The relationships are obtained for admissible losses of radio signals and interferences that are to be taken into account for ensuring electromagnetic compatibility of independent radio system. The graphs obtained make it possible to simplify frequency-spatial planning of radio communication network that are to be located within a limited area.