

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

БАХТІЯРОВ ДЕНИС ІЛШАТОВИЧ



УДК 538.69:331.35

**МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ МОНІТОРИНГУ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ В УРБАНІЗОВАНИХ
СЕРЕДОВИЩАХ**

05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Козлюк Ірина Олексіївна,
Національний авіаційний університет,
професор кафедри телекомунікаційних
та радіоелектронних систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Наконечний Володимир Сергійович,
Київський національний університет
імені Тараса Шевченка,
професор кафедри кібербезпеки
та захисту інформації;

кандидат технічних наук
Дакова Лариса Валеріївна,
Державний університет телекомунікацій,
доцент кафедри мобільних
та відеоінформаційних технологій.

Захист відбудеться «18» березня 2021 р. о 13⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.19 у Національному авіаційному університеті за адресою: Україна, 03058, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1, ауд. 6.205.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, пр-т. Любомира Гузара, 1.

Автореферат розісланий «17» лютого 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
д.т.н., доцент



Р. С. Одарченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Комплекси радіомоніторингу електромагнітної обстановки широко використовуються як інструмент для вирішення проблем у різних сферах - від управління використанням радіочастотних ресурсів до визначення областей енергетичного покриття при оцінці якості радіозв'язку. На додаток до конкретних завдань радіомоніторингу використання вищезазначених методів знаходить свої застосування для потреб електрозв'язку. Це, в свою чергу, призводить до необхідності розрахунків зони «покриття», або зони ЕМД, та інтеграцію радіочастотних систем, найбільш доцільних з точки зору вимог ефективності використання радіотехнічних пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки.

Прикладна частина, яка використовується для вирішення даного завдання, включає перевірку аналітичних підходів та розробку методів забезпечення моніторингу електромагнітних випромінювань, оцінку операційної ефективності для забезпечення електромагнітної доступності з урахуванням впливу урбанізованого середовища на характер розповсюдження електромагнітних випромінювань.

Проблема підвищення ефективності використання пристроїв моніторингу електромагнітних випромінювань стала актуальною внаслідок збільшення кількості міжнародних контактів та лібералізації ринку засобів радіозв'язку, а також загроз з боку зловмисників, які збирають інформацію про промислові та економічні таємниці державних та комерційних установ. Поява на новому рівні проблеми захисту інформації та розрахунку периметрів контрольованих зон наочно продемонстрували певне наукове і особливо технічне відставання вітчизняних засобів радіомоніторингу, здатних адекватно протистояти даними загрозам при проведенні контролю рівнів електромагнітних випромінювань, виявленні і локалізації потенційно небезпечних джерел радіовипромінювання, виявленні електромагнітних випромінювань і наведень, здатних призвести до витоку конфіденційної інформації.

Відповідно до цього було запропоновано розробити метод розрахунків рівнів основних та побічних електромагнітних випромінювань для потреб радіомоніторингу, що здатен враховувати втрати потужності радіосигналу на подолання різних типів перешкод всередині приміщень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Відповідно до наказу Національної академії наук України про затвердження основних наукових напрямків та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук на 2019-2023 роки, одним із переліку галузей дисциплін є дослідження у сфері радіофізики та електроніки, якій відповідають дослідження проведені у ході дисертаційної роботи. Результати дисертації використані у НДР № 874-ДБ13 «Створення та дослідження нових систем захищеного авіаційного радіозв'язку в рамках концепції CNS/ATM ICAO» (№ держ. реєстрації 0113U000093), в яких автор був виконавцем та які виконувалась на кафедрі телекомунікаційних систем Національного авіаційного університету.

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи - підвищення ефективності використання приладів радіомоніторингу в умовах складного характеру розповсюдження радіохвиль всередині приміщень.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі наукові завдання:

1. Обґрунтувати необхідність в підвищенні ефективності використання пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки на основі аналізу особливостей розповсюдження електромагнітних випромінювань в урбанізованому середовищі та недоліків існуючого математичного апарату для їх опису.

2. Побудувати модель оцінки енергетичних характеристик сигналів в точці спостереження на основі експериментальних досліджень згасання електромагнітних випромінювань в залежності від частоти, характеру перешкоди та відстані в реальних умовах експлуатації, отримати графічні та математичні залежності. Розробити метод уточнення моделей розповсюдження радіохвиль (на прикладі моделі COST 231 MWM).

3. Розробити метод виявлення джерел електромагнітних випромінювань в умовах складної завадової та електромагнітної обстановки всередині приміщення в рамках зони електромагнітної доступності та розробити деталізовану структуру цього процесу.

4. Розробити програмне забезпечення, що дозволить визначити периметр зони електромагнітної доступності / надійного прийому радіосигналу телекомунікаційними пристроями малого радіусу покриття на базі отриманого математичного апарату для потреб моніторингу електромагнітної обстановки всередині приміщень.

5. Провести експериментальну верифікацію отриманих результатів для оцінки особливостей розповсюдження основних та побічних електромагнітних випромінювань в урбанізованому середовищі на прикладі запропонованої уточненої моделі та на основі отриманих результатів оцінити можливості перехоплення й відтворення семантичної інформації за рахунок ПЕМВН.

Об'єкт дослідження – процес розповсюдження електромагнітних випромінювань в урбанізованому середовищі.

Предмет дослідження – метод підвищення ефективності використання радіотехнічних пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки.

Методи дослідження. Всі представлені в дисертаційній роботі аналітичні результати отримані з використанням наступних математичних апаратів: методи теорії розповсюдження електромагнітних випромінювань – для аналізу згасання електромагнітного поля в залежності від частоти та відстані в реальних умовах експлуатації; методи математичного моделювання – для перевірки адекватності розроблених моделей та алгоритмів; методи обробки експериментальних даних – для уточнення моделі розповсюдження радіохвиль (на прикладі COST 231 MWM). Розрахунки і математичні дослідження виконані методом моделювання з використанням програмного пакету MathCad і середовища програмування JavaScript. Для експериментальної частини використовувалося обладнання фірми Rohde & Schwarz та RTL-SDR V3.

Наукова новизна одержаних результатів. Отримано такі наукові результати, що виносяться на захист:

1. Вперше розроблено метод підвищення ефективності використання пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки у системах радіотехніки малого радіусу покриття за рахунок удосконалення структури системи моніторингу та використання нових структурних закономірностей розподілу поля всередині приміщення, що дозволило уточнити існуючі моделі розповсюдження електромагнітних випромінювань.

2. Набули подальшого розвитку розрахункові методи визначення зони електромагнітної доступності з урахуванням особливостей розповсюдження радіосигналів всередині приміщень на етапі проектування будівлі, що дозволило визначати периметр території, за межами якої унеможливується перехоплення радіосигналу.

3. Вперше розроблено метод оцінювання рівнів електромагнітних випромінювань радіотехнічними засобами моніторингу електромагнітної обстановки, що полягає в синтезі чотирьохетапного процесу виявлення їх джерел в урбанізованому середовищі в

умовах складної структури електромагнітного поля, що дозволяє зменшити тривалість пошукового процесу та підвищити достовірність одержаної інформації.

4. Удосконалено принципи оптимального проектування радіотехнічних вузлів та пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки через врахування детермінованих та випадкових відхилень параметрів електромагнітного поля всередині приміщень, що дозволило підвищити інтегральну чутливість засобів моніторингу електромагнітної обстановки та точність прогнозування електромагнітного поля з урахуванням особливостей джерел випромінювань.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дисертаційної роботи дають можливість скорегувати параметри та структуру пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки з метою підвищення ефективності їх використання. Виведені розрахунково-графічні залежності коефіцієнту затухання електромагнітних випромінювань дають можливість уточнити існуючі моделі їх розповсюдження всередині приміщень. Запропоновані програмні рішення в середовищі MathCad і JavaScript спрощують проведення розрахунків розробленими методами та дозволяють визначати периметр зони електромагнітної доступності. Запропонована структура системи моніторингу електромагнітної обстановки, що включає чотирихетапний процес визначення місцезнаходження джерел основних та побічних електромагнітних випромінювань та оцінки їх рівнів, що забезпечує підвищення швидкодії їх виявлення в умовах складної електромагнітної обстановки. Запропоновано структуру та надані рекомендації по проектуванню вузлів пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки в умовах завод. Результати роботи впроваджено у навчальний процес Національного авіаційного університету [19], діяльність Навчально-науково-виробничого комплексу «Інформаційно-комунікаційні системи» та у секторах інформаційних технологій і охорони державної таємниці, технічного та криптографічного захисту інформації Сумської митниці ДФС. Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. Роботи [1, 3, 6, 12, 16, 25, 27, 29] виконані без співавторів. Деякі роботи виконані у співавторстві з науковим керівником та іншими вченими. Зокрема, здобувачу належать: у роботі [2] – аналіз нормативної бази України в галузі захисту інформації; у роботах [4, 5, 8] – дослідження особливостей виділення корисного сигналу в умовах підвищеної заводої обстановки; у роботах [7, 9, 11, 18] – модель захищеної системи передавання радіосигналів; у роботах [10, 13, 15, 17, 24, 28] – аналіз алгоритмів виділення семантичної інформації з прийнятого радіосигналу; у роботах [14, 20] – дослідження методів несанкціонованого отримання інформації за рахунок побічних електромагнітних випромінювань; у роботі [21] – метод визначення контрольованої зони приміщення за рахунок уточнення моделей розповсюдження електромагнітних випромінювань; у роботі [22] – дослідження впливу ефекту багатопронемовості на характер розповсюдження електромагнітних випромінювань; у роботі [23] – програмне забезпечення для визначення периметру контрольованої зони приміщення; у роботі [26] – метод уточнення існуючих моделей розповсюдження електромагнітних випромінювань на основі отриманої формульної залежності коефіцієнту затухання від частоти, відстані та характеру перешкоди; у роботі [30] – чотирихетапний процес процес виявлення джерел електромагнітних випромінювань в урбанізованому середовищі в умовах складної структури електромагнітного поля.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися на Всеукраїнських та Міжнародних науково-технічних конференціях: науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики» (м. Київ, 2013, 2014), науково-практичній конференції «Захист інформації в інформаційно-комунікаційних системах» (м. Київ, 2013), науково-практичній конференції «Політ. Сучасні проблеми науки: XIV» (м. Київ, 2014, 2016), науково-технічній конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM», (м. Київ, 2014, 2018), науково-технічній конференції «ABIA-2015», «ABIA-2017» (м. Київ, 2015, 2017), науково-практичній конференції "Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах" (м. Київ, 2015), науково-практичній конференції "Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем" (м. Київ, 2015, 2020), всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Проблеми навігації і управління рухом» (м. Київ, 2015), науково-технічній конференції "Methods and Systems of Navigation and Motion Control" (м. Київ, 2016, 2018), науково-технічній конференції "Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments" (м. Київ, 2019).

Публікації Основні результати дисертації опубліковано у 30 наукових працях, зокрема 10 статтях у фахових виданнях України, 4 статті входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, дві статті у періодичних наукових виданнях держав, що входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та Європейського Союзу, а також 15 тезах доповідей на конференціях.

Структура та обсяг роботи Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів та висновків, що містять основні отримані результати. Загальний обсяг роботи становить 205 сторінок. Робота містить 32 таблиці, 75 рисунків та список використаних джерел, що складається зі 111 найменувань, включаючи список опублікованих здобувачем наукових праць. У додатках наведено лістинг коду програмного модуля для розрахунків рівнів прямих та побічних електромагнітних випромінювань та розрахунку зони електромагнітної доступності всередині приміщень; акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, викладено зв'язок з науковими темами, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, показано наукову новизну і практичне значення.

Перший розділ «Дослідження методів та моделей оцінки характеру розповсюдження електромагнітних випромінювань в урбанізованих середовищах» є оглядовим і закінчується постановкою завдання дослідження. Представлені результати дослідження особливостей моделювання розповсюдження електромагнітних випромінювань у приміщенні показали, що дані моделі помітно складніші, ніж моделі для відкритого простору через такі обставини, як обмежений простір між передавачем і приймачем, складну конфігурацію (коридорами, поворотами і т.п.) та необхідність враховувати ефекти багатопроменевості. В свою чергу на практиці широке застосування знайшли моделі, отримані на основі обробки результатів експериментальних досліджень, що можуть використовуватися при організації і придушенні професійного радіозв'язку, оцінці рівнів основних та побічних електромагнітних випромінювань. В результаті дослідження було сформовано основне завдання дисертаційної роботи, що виконується в чотири етапи (рис. 1).

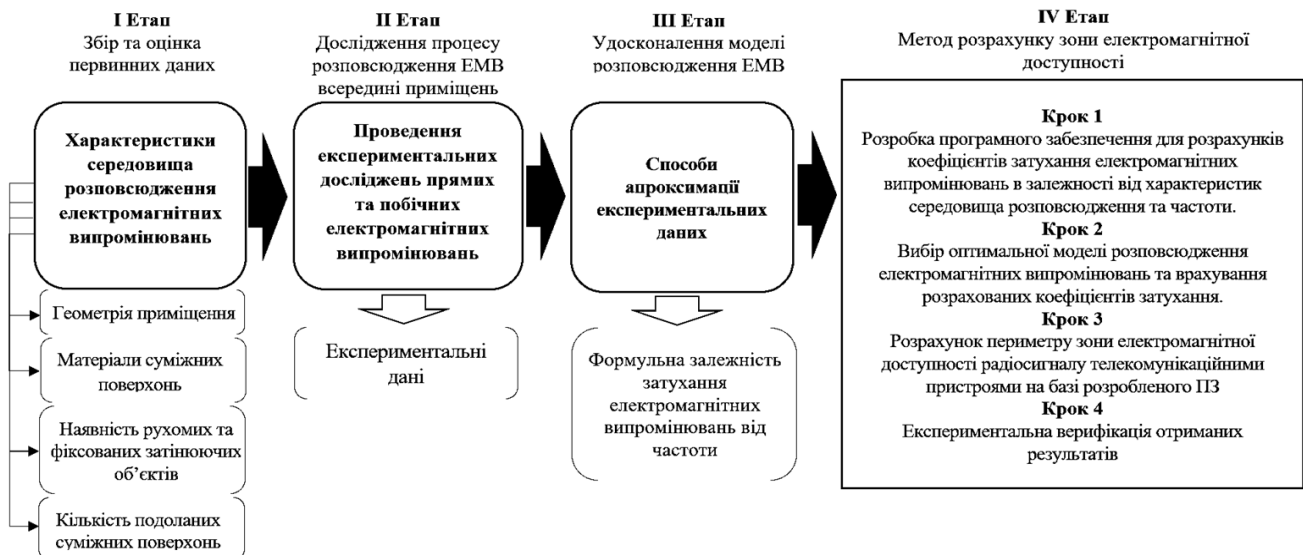


Рис. 1. Основні етапи виконання завдання дисертаційної роботи

Другий розділ «Метод уточнення моделей розповсюдження електромагнітних випромінювань». У якості досліджуваного джерела випромінювання використовувався комп'ютер типу IBM PC, що розташовувався на другому поверсі будівлі, план якої приведений на рис. 2.

Корпус будівлі триповерховий, блоково-панельний, висота кожного поверху з урахуванням міжповерхових перекриттів – 4 м. У приміщеннях будівлі розташовані письмові столи, а також контрольно-вимірювальна апаратура. У якості інформації, яка оброблялась на комп'ютері, використовувалася тестова програма (Soft Tempest), в ході роботи якої були задіяні в циклічному режимі системний блок і монітор. Комп'ютер розташовувався робочому столі на відстані 1 м від вікна. На рис. 2 місце розташування досліджуваного джерела випромінювання позначено літерою «Д», а точки проведення вимірювання «Т₁-Т₄» на частотах, що позначені літерами К₁-К₁₂ відповідно. Коефіцієнт затухання електромагнітного поля розраховувався за формулою: $K = 20 \lg(E_d / E_0)$, де K – коефіцієнт затухання; E_0 – напруженість, виміряна на відстані 0.5 м від джерела; E_d – напруженість, виміряна на відстані d від джерела випромінювання.

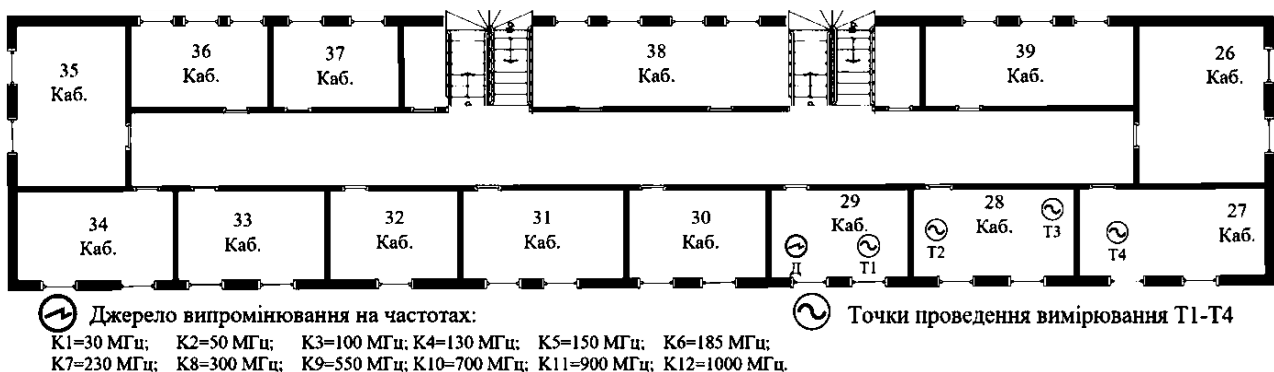


Рис. 2. План будівлі

На основі приведених вимірювань можна зробити висновок, що закон затухання електромагнітного поля в просторі залежить від ряду зовнішніх чинників. Це можна побачити на графіках (рис. 3) у випадках збільшення коефіцієнта затухання поля ПЕМВН зі збільшенням частоти. Наявність в просторі сторонніх тіл обумовлює прояв таких явищ, як: екранування, перевипромінювання, дифракція, що призводить до несподіваних сплесків електромагнітного поля, які можемо побачити на попередніх графіках.

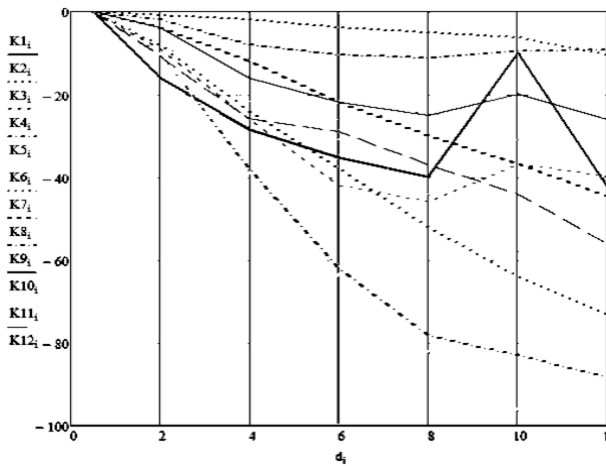


Рис. 3. Залежності коефіцієнта затухання поля від відстані d_i на частотах K_1 - K_{12}

Діапазон від 30 до 1000 МГц розділяється на три частини для отримання більш точних результатів, тому що кожний з піддіапазонів буде описаний власною функцією: 1. Від 30 до 130 МГц; 2. Від 130,1 до 300 МГц; 3. Від 300,1 до 1000 МГц. Для розрахунку коефіцієнтів a_1, a_2, a_3, a_4 було використано експериментальні дані, які підставлялися до наведеного вище поліному та приведені до вигляду системи з чотирьох лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} f(a_1, a_2, a_3, a_4) = 30^3 a_1 + 30^2 a_2 + 30 a_3 + a_4 + 22 \\ g(a_1, a_2, a_3, a_4) = 50^3 a_1 + 50^2 a_2 + 50 a_3 + a_4 + 3 \\ h(a_1, a_2, a_3, a_4) = 100^3 a_1 + 100^2 a_2 + 100 a_3 + a_4 + 33 \\ j(a_1, a_2, a_3, a_4) = 130^3 a_1 + 130^2 a_2 + 130 a_3 + a_4 + 50 \end{cases}$$

В результаті розв'язку системи рівнянь було отримано значення коефіцієнтів a_1, a_2, a_3, a_4 для першого піддіапазону та отримана залежність коефіцієнта затухання між суміжними поверхами: $L_f = 2,256 \cdot 10^{-4} f^3 - 0,063 f^2 + 4,865 f - 117,554$.

Проведемо аналогічні розрахунки для другого піддіапазону:

$$\begin{cases} q(a_1, a_2, a_3, a_4) = 150^3 a_1 + 150^2 a_2 + 150 a_3 + a_4 + 57 \\ w(a_1, a_2, a_3, a_4) = 185^3 a_1 + 185^2 a_2 + 185 a_3 + a_4 + 32 \\ l(a_1, a_2, a_3, a_4) = 230^3 a_1 + 230^2 a_2 + 230 a_3 + a_4 + 18 \\ p(a_1, a_2, a_3, a_4) = 300^3 a_1 + 300^2 a_2 + 300 a_3 + a_4 + 7 \end{cases}$$

Коефіцієнти затухання між суміжними поверхами для другого піддіапазону частот:

$$L_f = 2,467 \cdot 10^{-5} f^3 - 0,019 f^2 + 4,988 f - 461,464$$

Для третього піддіапазону:

$$\begin{cases} z(a_1, a_2, a_3, a_4) = 500^3 a_1 + 500^2 a_2 + 500 a_3 + a_4 + 15 \\ x(a_1, a_2, a_3, a_4) = 700^3 a_1 + 700^2 a_2 + 700 a_3 + a_4 + 17 \\ n(a_1, a_2, a_3, a_4) = 900^3 a_1 + 900^2 a_2 + 900 a_3 + a_4 + 28 \\ m(a_1, a_2, a_3, a_4) = 1000^3 a_1 + 1000^2 a_2 + 1000 a_3 + a_4 + 39 \end{cases}$$

Коефіцієнти затухання між суміжними поверхами для третього піддіапазону частот:

$$L_f = -1,417 \cdot 10^{-7} f^3 + 1,85 \cdot 10^{-4} f^2 - 0,078 f - 4,75$$

В результаті об'єднавши всі три розв'язки від кожного з піддіапазонів в систему рівнянь знайдено загальний розв'язок:

$$L_f = \begin{cases} 2,256 \cdot 10^{-4} f^3 - 0,063 f^2 + 4,865 f - 117,554 \\ 2,467 \cdot 10^{-5} f^3 - 0,019 f^2 + 4,988 f - 461,464 \\ -1,417 \cdot 10^{-7} f^3 + 1,85 \cdot 10^{-4} f^2 - 0,078 f - 4,75 \end{cases}$$

Подальші розрахунки були проведені за результатами вимірювань зробленими у точці T_2 (8 метрів від джерела).

Обробка результатів проводилася за допомогою математичних методів *spline* апроксимації та інтерполяції. Точність поліноміальної апроксимації катастрофічно падає при збільшенні степені апроксимуючих поліномів, тому в дисертаційній роботі використовуються відрізки поліномів третьої степені, що дають представлення частини вузлових точок: $y = a_1 x^3 + a_2 x^2 + a_3 x + a_4$.

Графічна залежність L_f від частоти представлена на рис. 4. Порівняння значень коефіцієнту затухання електромагнітних випромінювань між суміжними поверхнями в залежності від частоти та відстані отриманих експериментальним шляхом і розрахованих за допомогою виведеної формульної залежності показало, що загальна похибка розрахунків 8%.

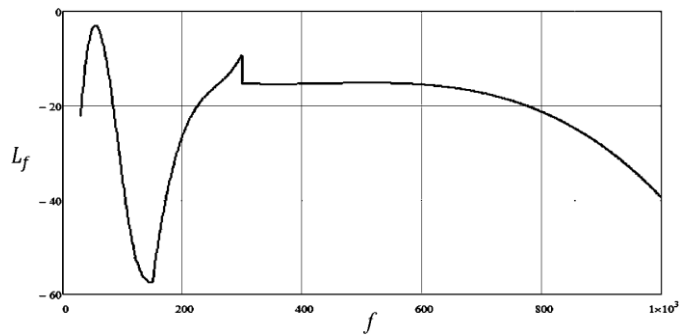


Рис. 4. Залежність коефіцієнту затухання між суміжними поверхнями від частоти

Аналогічним шляхом виведено формульні залежності коефіцієнту затухання L_ω ЕМВ між суміжними поверхнями та в стінах від частоти:

для першого діапазону частот: $L_\omega = 3,363 \cdot 10^{-4} f^3 - 0,097 f^2 + 7,882 f - 198,018$;

для другого діапазону частот: $L_\omega = 1,792 \cdot 10^{-5} f^3 - 0,015 f^2 + 4,277 f - 452,657$;

для третього діапазону частот: $L_\omega = 3,167 \cdot 10^{-7} f^3 - 8,4 \cdot 10^{-4} f^2 + 0,668 f - 188,5$.

$$L_\omega = \begin{cases} 3,363 \cdot 10^{-4} f^3 - 0,097 f^2 + 7,882 f - 198,018 & 30 \text{ МГц} \leq f < 130 \text{ МГц} \\ 1,792 \cdot 10^{-5} f^3 - 0,015 f^2 + 4,277 f - 452,657 & 130 \text{ МГц} \leq f < 300 \text{ МГц} \\ 3,167 \cdot 10^{-7} f^3 - 8,4 \cdot 10^{-4} f^2 + 0,668 f - 188,5 & 300 \text{ МГц} \leq f \leq 1000 \text{ МГц} \end{cases}$$

Графічна залежність L_ω рис. 5, (похибка 12%). При цьому загальна оцінка отриманих результатів показує, що значення коефіцієнту затухання електромагнітного випромінювання змінюється в залежності від частоти (в порівнянні зі стандартизованими значеннями, що незмінні для будь-яких частот і залежать лише від характеру перешкоди $L_f=18,3$ дБ та $L_\omega=3,4$ та $L_\omega=6,9$).

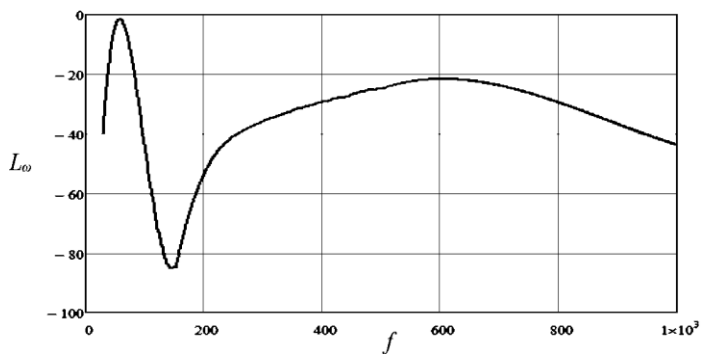


Рис. 5. Залежність коефіцієнту затухання в стінах від частоти

Отримані закономірності розподілу поля всередині приміщення та внаслідку уточнені існуючі моделі розповсюдження електромагнітних випромінювань дали необхідний математичний апарат для розробки програмного забезпечення з метою визначення периметру зони електромагнітної доступності, що в свою чергу дозволить підвищити ефективність використання апаратури моніторингу електромагнітних випромінювань.

У третьому розділі «Метод оцінювання та прогнозування рівнів електромагнітних випромінювань в урбанізованих середовищах» запропоновано метод оцінювання рівнів електромагнітних випромінювань радіотехнічними пристроями моніторингу електромагнітної обстановки (Рис. 6), що полягає в синтезі чотирьохетапного процесу виявлення їх джерел в урбанізованому середовищі в умовах складної структури електромагнітного поля. Від повноти вирішення завдань пошуковим обладнанням залежить тривалість процесу пошуку і достовірність одержуваної інформації. Повнота і швидкість їх проведення, ефективність пошукової системи, достовірність одержаної інформації та вірогідність прийняття рішень залежать від структури пошукової системи і характеристик використовуваних в ній засобів.

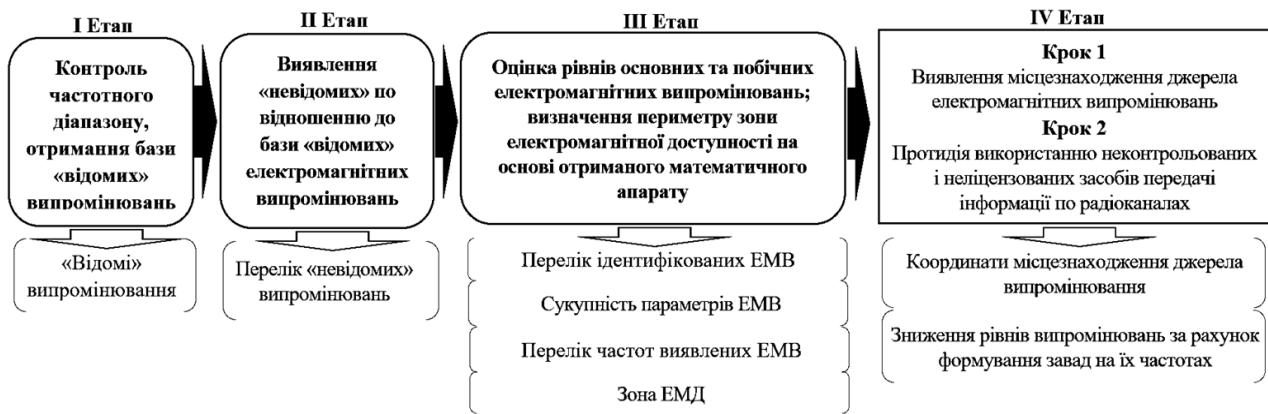


Рис. 6 Основні етапи процесу виявлення джерел електромагнітних випромінювань

I Етап передбачає аналіз поточного завантаження діапазону і накопичення даних про частоти, рівні і характер електромагнітних випромінювань в робочому діапазоні частот з прив'язкою даних до місця прийому. Під «відомими» випромінюваннями розуміється сукупність накопичених за певний інтервал часу даних про завантаження діапазону, отриманих за результатами проведення поточного контролю. При цьому передбачається, що небезпечні сигнали відсутні, що досягається, наприклад, поступовим накопиченням «відомих» випромінювань з ретельною перевіркою кожного з випромінювань.

До переліку «невідомих» (**II Етап**) включаються дані про випромінювання, сукупності параметрів яких задовольняють заданим критеріям пошуку. Використання «опорної» антени передбачає наявність у складі пошукової системи антенного комутатора, що забезпечує по чергове підключення однієї з прийомних (в виділеному приміщенні) антен та «опорної» антени, що знаходиться поза зоною електромагнітної доступності приміщення, але забезпечує надійний прийом всіх зовнішніх сигналів.

В рамках виконання **III Етапу** було запропоновано метод визначення зони електромагнітної доступності та розроблене відповідне програмне забезпечення.

Алгоритм програмного забезпечення наступний (рис. 7):

1. Після заповнення користувачем необхідних для обчислення вихідних даних, програмне забезпечення починає процес обрання моделі розповсюдження електромагнітних випромінювань та формульної залежності для розрахунку коефіцієнту затухання ЕМВ при подоланні суміжних поверхонь, відповідно до належності частоти певному діапазону.

2. Проводиться обчислення за обраною формульною залежністю затухання електромагнітного випромінювання в суміжних поверхнях, в залежності від напрямку розповсюдження ЕМВ (внутрішньо-внутрішній чи внутрішньо-зовнішній).

3. Проводиться обчислення меж зони ЕМД. Підбір відбувається таким чином: послідовно підбирається значення відстані i , в ході обчислення загальних втрат під час проходження шляху сигналом та обчислення напруженості поля на даній відстані, порівнюється значення ЕРС що наводиться на антену приймача зі значенням чутливості приймального пристрою. Якщо значення ЕРС менше, то приймається рішення, що відстань яка була обрана останньою і є межею зони в даному напрямку, на якій вже неможливо зафіксувати, а отже, перехопити сигнал.

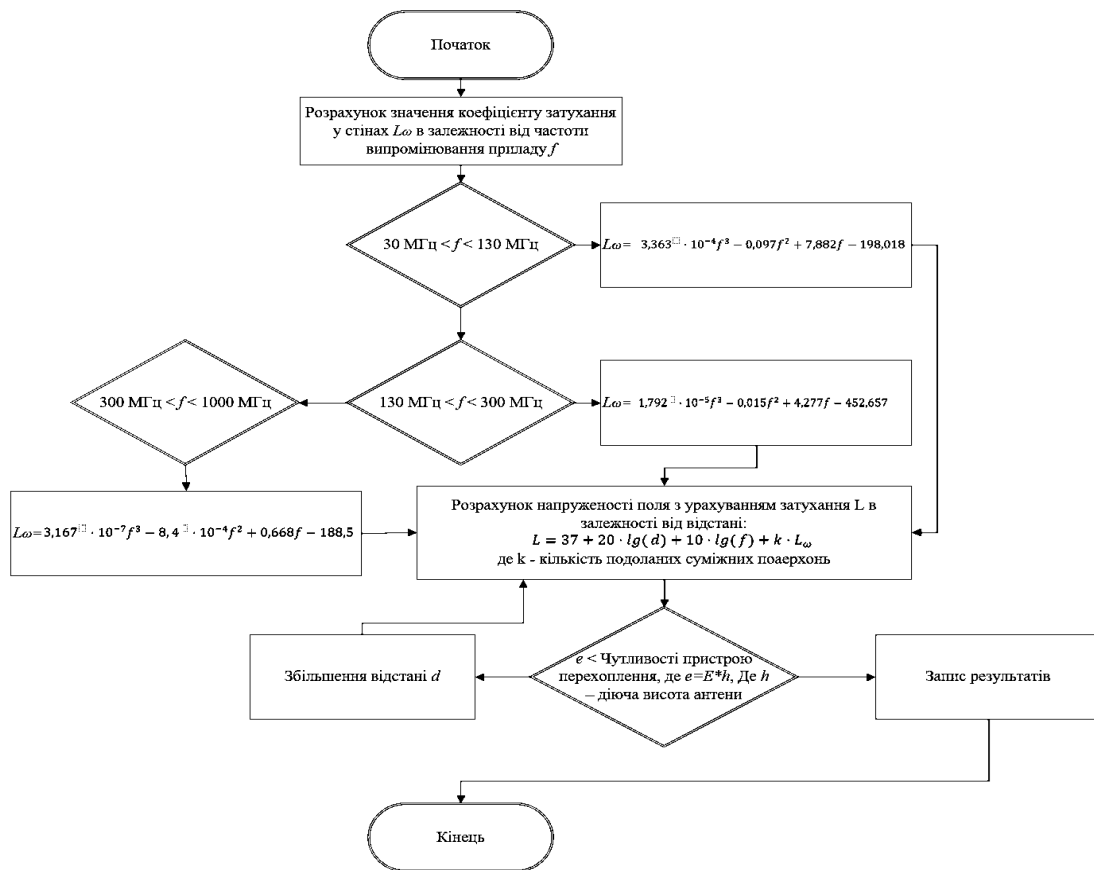


Рис. 7. Блок-схема програмного алгоритму для розрахунку зони ЕМД

Для виконання IV Етапу необхідно здійснити порівняння максимальних (з виходів антен в зоні ЕМД) компонент спектра з рівнями відповідних компонент попередньо накопичених у виділеному приміщенні «відомих» електромагнітних випромінювань (при явній відсутності випромінювань від інших джерел) і граничним рівнем для відповідної частоти, а потім за результатами порівняння приймається рішення про наявність (відсутність) «невдомих» випромінювань в зоні ЕМД. Координати при моніторингу електромагнітної обстановки обрані з сукупності спектральних відліків $X_R(j, n)$ усереднених по R реалізацій енергетичного спектра.

$$X_R(j, n) = \frac{1}{R} \times \sum_{r=1}^R |c_{(r)}(n)|^2,$$

де j – номер антени, підключеної до входу апаратури моніторингу.

Середня потужність випадкового процесу $U_m(t)$, представленого в частотній області сукупністю значень $X_R(j, n)$ номерами від n_{min} до n_{max} , пропорційна сумі цих відліків:

$$\hat{P}_{j,m} = 10 \lg \left(\sum_{n=n_{min}}^{n_{max}} X_R(j, n) \right) + \mu, \text{ дБ},$$

де μ – поправочний коефіцієнт, який визначається калібруванням антени і апаратури використовуваного каналу моніторингу електромагнітної обстановки (МЕО).

Запропонована структура пошукової системи, яка реалізує даний алгоритм і забезпечує при цьому підвищену інтегральну чутливість і максимальну швидкодію, містить: комплект широкодіапазонних антен, одна з яких («опорна») винесена за межі виділеного приміщення; керований антенний комутатор; керований по частоті приймальний тракт з шириною смуги пропускання по ПЧ; пристрій аналого-цифрової обробки на основі швидкого перетворення Фур'є (ШПФ); керуючий пристрій із змінною структурою, яка визначається запропонованим програмним забезпеченням.

Підвищення ефективності використання апаратури МЕО при даному способі забезпечується: використанням панорамного аналізу на основі ШПФ; скороченням

обсягу оброблюваних даних при використанні бази «відомих» електромагнітних випромінювань або сигналів з виходу «опорної» антени.

В основу даного способу покладено відоме положення електродинаміки про різний характер зміни напруженості електромагнітного поля в ближній і дальній зонах. Компоненти вектору напруженості електричного поля, випромінюваного електричним диполем p , в сферичних координатах визначаються виразами:

$$\begin{cases} E_r = \frac{1}{2\pi\varepsilon} \left(\frac{1}{r^3} - \frac{ik}{r^2} \right) \cos\theta |\vec{p}| \exp[-i\omega t], \\ E_\theta = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \left(\frac{1}{r^3} - \frac{ik}{r^2} - \frac{k^2}{r} \right) \sin\theta |\vec{p}| \exp[-i\omega t], \\ E_\varphi = 0. \end{cases}$$

де r , θ та φ – сферичні координати, E_r , E_θ , E_φ – компоненти напруженості електричного поля в сферичних координатах, ε , μ – електрична і магнітна проникності вільного середовища, ω – кругова частота випромінювання.

Дипольний момент пов'язаний з випромінюваною потужністю W співвідношенням:

$$W = \frac{\omega^4}{12\pi} \mu \sqrt{\varepsilon\mu} |\vec{p}|^2,$$

Модуль напруженості електричного поля визначається виразом:

$$|\vec{E}| = \sqrt{\frac{12\pi W}{\mu\sqrt{\varepsilon\mu}\omega^4}} \sqrt{\frac{1}{(2\pi\varepsilon)^2} \left(\frac{1}{r^6} + \frac{k^2}{r^4} \right) \cos^2\theta + \frac{1}{(4\pi\varepsilon)^2} \left(\left(\frac{1}{r^3} + \frac{k^2}{r} \right)^2 + \frac{k^2}{r^4} \right) \sin^2\theta},$$

Максимум модуля напруженості електричного поля по всіх можливих напрямках θ , при заданому r визначається виразом:

$$E_{\max}(r) = \sqrt{\frac{12\pi W}{\mu\sqrt{\varepsilon\mu}\omega^4}} \sqrt{\max \left\{ \frac{1}{(2\pi\varepsilon)^2} \left(\frac{1}{r^6} + \frac{k^2}{r^4} \right), \frac{1}{(4\pi\varepsilon)^2} \left(\left(\frac{1}{r^3} + \frac{k^2}{r} \right)^2 + \frac{k^2}{r^4} \right) \right\}},$$

На рис. 8 представлені залежності максимального значення модуля напруженості електричного поля E_{\max} , що породжується порівняно малопотужними (100 мкВт і 1 мВт) джерелами ЕМВ з частотами 30 і 300 МГц в виділеному приміщенні на відстанях R від 1 до 10 м. На тих же рисунках приведені залежності потужних (100 Вт) джерел електромагнітних випромінювань, наприклад, радіомовних станцій, віддалених від виділеного приміщення на 3 км.

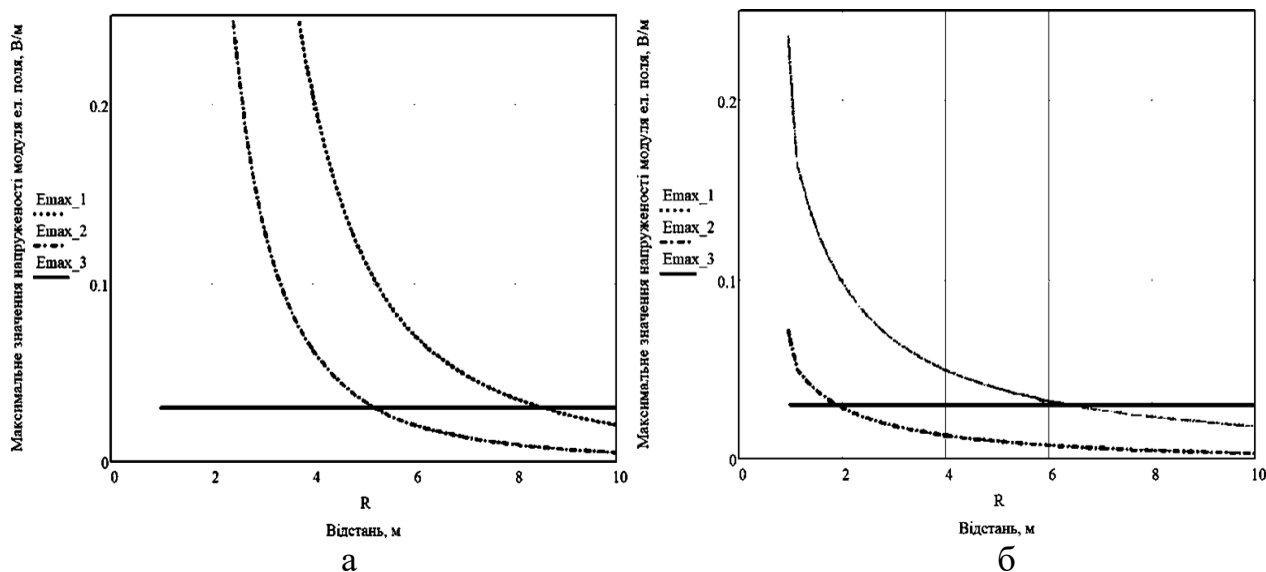


Рис. 8. – Залежність E_{\max} від відстані до джерела випромінювання на частоті:
(а) 30 МГц, (б) 300 МГц

Аналіз характеру зміни кривих показує, що в ближній (1...8 м) зоні рівень випромінювання від малопотужних джерел, як і слід було очікувати, перевищує рівень потужних, але віддалених джерел. Для реалізації можливості виявлення малопотужних джерел ЕМВ в умовах складної заводої електромагнітної обстановки і підвищення ефективності використання пошукової системи в виділеному приміщенні розміщуються декілька (2 ... 4) антен з квазіізотропними діаграмами спрямованості. Вони встановлюються з таким розрахунком, що при будь-якому розміщенні джерела ЕМВ його відстань до антени складе 1 ... 5 метрів, що відповідає «ближній» зоні прийому.

Такий метод дає можливість виділити антену, сигнал з виходу якої має найбільший рівень. Цим досягаються такі можливості: відселектувати випромінювання шуканого джерела ЕМВ на фоні випромінювань штатних радіозасобів; компенсувати нерівномірності діаграми спрямованості квазіізотропних антен в різних просторових секторах.

Можливість підключення до одного з входів комутатора зовнішньої («опорної») антени істотно збільшує ймовірність розрізнення зовнішніх і внутрішніх джерел випромінювань в складній електромагнітній обстановці, підвищує швидкість пошуку нових сигналів.

Розроблено методику виявлення джерел «невдомих» електромагнітних випромінювань з урахуванням детермінованих та випадкових відхилень параметрів електромагнітного поля, що складається з наступних кроків:

1. Радіоприймальний пристрій налаштовується на ділянку частот, що дорівнює смузі $\Delta F(q)$ з номером q робочого діапазону RD , $q = 1, 2, \dots, Q$, $Q = \frac{RD}{\Delta F}$.

2. Антенний комутатор підключає до входу пристрою МЕО «опорну» антену з номером $j (j=1)$.

3. За відліком спостережуваного енергетичного спектра вхідного випадкового процесу на основі: $\hat{\sigma}_{\text{уточ}}^2 = \frac{N}{N_p - N_c} \times \sum_{n \notin \theta_c} x_n$, розраховується оцінка інтенсивності шуму.

4. Проводиться виявлення вузькосмугових сигналів в смузі частот $\Delta F(q)$ і запам'ятовування всіх компонент, що перевищили порогове значення.

5. Антенний комутатор підключає до входу пристрою МЕО антену з номером $j = 2, \dots, J$ після чого виконуються дії відповідно до кроків 3, 4.

6. Для кожного з виявлених сигналів $u_m(j, t)$, $j = 2, \dots, J$ визначаються номер j і середня потужність, для якого $\hat{P}_{j,m}$ максимальна, а також $\hat{P}_{1,m}$ для опорної антени ($j = 1$).

7. Для кожного з виявлених сигналів розраховується оцінка відмінності спостережуваної інтенсивності $\Delta P_{\text{спост}}$ за правилом: $\Delta P_{\text{спост}} = 10 \lg \left(\frac{\hat{P}_{j,m}}{\hat{P}_{1,m}} \right) + (\mu_c - \mu_o)$, де $j = 2, \dots, J$ з перерахунком поправочних коефіцієнтів μ_c та μ_o відповідно до параметрів антен в зоні ЕМД («сигнальних») і «опорної».

8. Визначається клас джерела електромагнітних випромінювань ζ_m відповідно до правила: $\zeta_m = \begin{cases} \rho_{\text{ЕМД}}, \text{ якщо } \Delta P_{\text{спост}} > \Delta P_{\text{пор } 2} \\ \text{не визначено, якщо } \Delta P_{\text{пор } 1} < \Delta P_{\text{спост}} < \Delta P_{\text{пор } 2}, \text{ де } \rho_{\text{ЕМД}} - \text{об'єднує} \\ \rho_{\text{зовн}}, \text{ якщо } \Delta P_{\text{спост}} \leq \Delta P_{\text{пор } 1} \end{cases}$ джерела, що належать до зони ЕМД, а $\rho_{\text{зовн}}$ – віддалені джерела випромінювань.

9. Далі процедура повторюється для всіх ділянок робочого діапазону, тобто дії по пунктам 1-9 для $q = 2$ і т.д.

Використовувані пороги $\Delta P_{\text{пор } 1}$ та $\Delta P_{\text{пор } 2}$ можуть в кожному конкретному випадку коригуватися з урахуванням властивостей області контролю і розміщення приймальних

антен. Крім того, дані пороги можуть бути різними для різних ділянок спектра відповідно до реальних параметрів електромагнітної обстановки.

Ефективність використання пристроїв МЕО в значній мірі залежить від їхніх функціональних і технічних можливостей, що визначають їх продуктивність та виробничу потужність при вирішенні основних завдань радіомоніторингу. Для розрахунків ефективності використання було проведено хронометраж продуктивних і непродуктивних витрат часу вітчизняних пристроїв МЕО та синтезованого на основі запропонованого методу (АДБ-511) при однаковій продуктивності та вирішенні завдань моніторингу електромагнітної обстановки. Результати порівняння продуктивних і непродуктивних витрат часу по вирішенню завдань МЕО за робочу зміну представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати порівняння продуктивних і непродуктивних витрат часу

	Продуктивні затрати часу за робочу зміну $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$, хв	Непродуктивні затрати часу за робочу зміну $\Delta T_{\text{непр}}^{zj}$, хв
Мобільний: РМ-1300 ХХ, РМ-1300-2РЗ, РМ-1300-РЗ/5, РМ-1300-РЗ/5М	10	55
Стаціонарний: РМ-172, РМ-2500Р, АІК-С, АІК-СП6, UMS-100	33	5

Загальні продуктивні витрати часу $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$ для АДБ-511 зменшились на 10 хв в порівнянні з середнім часом для мобільних пристроїв МЕО, що становить 40 %; в порівнянні з середнім часом для стаціонарних пристроїв МЕО $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$ зменшилось на 33 хв, що становить 68.75%. Ефективність використання $E_{\text{в}} = \frac{\sum_{z=1}^Z \times \sum_{j=1}^J T_{\text{пл.МЕО}}^{zj}}{T_{\text{пл.МЕО}}}$ пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки в урбанізованих середовищах розраховано відповідно до відомого детермінованого просторово-частотно-часового підходу за плановий щомісячний період радіоконтролю випромінювань РЕЗ радіотехнологій загального користування протягом $T_{\text{пл.МЕО}} = 21$ робочого дня при тривалості робочої зміни $T_{\text{зм}} = 8$ годин. Середня ефективність використання за плановий період переліку мобільних та стаціонарних пристроїв МЕО складає $E_{\text{в}} = 0.71$ (71%), показник ефективності використання АДБ-511, що включає зменшення затрат продуктивного і непродуктивного часу за робочу зміну складає $E_{\text{в}} = 0.91$ (91%). Підвищення ефективності використання радіотехнічних пристроїв МЕО за плановий період складає 20%.

Четвертий розділ «Експериментальні дослідження методів виявлення електромагнітних випромінювань приладами моніторингу електромагнітної обстановки» присвячено експериментальній верифікації розроблених методів оцінки рівнів основних та побічних електромагнітних випромінювань в урбанізованих середовищах. Запропоновано конфігурацію експериментальної установки моніторингу електромагнітної обстановки придатної для проведення всього циклу дослідів в рамках даної дисертаційної роботи. Всі експерименти розділені на наступні групи: в межах, прямої видимості; з урахуванням затінення фіксованими об'єктами; для сусідніх приміщень; для приміщень в багатоповерхових будівлях; з урахуванням затінення рухомими об'єктами (людьми); перехід сигналу з приміщення на вулицю і навпаки.

Проведено експериментальне дослідження існуючих джерел витоку конфіденційної інформації у ПК та офісній периферії за рахунок ПЕМВН. В результаті особливий інтерес становлять дослідження рівнів ПЕМВН у відеотракті ПК, що представлені у вигляді дослідів кабельних інтерфейсів VGA, DVI, HDMI та відеокарти. За допомогою технології Soft Tempest було отримано наступні результати: VGA інтерфейс – гармоніки з частотами 272,15; 371,15 і 455 МГц; DVI та HDMI інтерфейси – 259,62; 380,13 і 455 МГц. Перша трійка гармонік (або одна з них) може використовуватися для передачі "0", друга – "1".

Відповідно до отриманих значень, оптимальною відстанню для спеціальних досліджень за протоколом HDMI є відстань S, що дорівнює 3 м, оскільки ця відстань є межею для частот зі слабким рівнем ПЕМВН. Співвідношення сигнал/шум на таких частотах з більшої відстані не перевищує 3 дБмкВ/м, тому перехоплення ПЕМВН з більшої відстані з подальшим відновленням інформаційного сигналу неможливе. Максимальна відстань перехоплення (з можливістю подальшого отримання інформаційного сигналу) також була визначена при регулюванні кабелю без активного та непрямого захисту, що означає S' та дорівнює 15 м (рис. 9, 10).

У середньому, при дослідженні скручених кабелів, збільшення рівня ПЕМВН протоколу HDMI знаходиться в діапазоні від 50% до 100% від значення ПЕМВН, коли кабель досліджується в розтягнутому стані, але при порівнянні кабелів для зчитування рівня ПЕМВН протоколів VGA та DVI, спостерігається зростання не більше ніж на 40%. Слід зазначити, що дальність прийому сигналу за допомогою такого програмного забезпечення близько декількох десятків метрів, а швидкість передачі даних досягає 60 біт/с.

В якості джерела ЕМВ використувався радіомікрофон з підвищеною чутливістю приймача SIM-DSS-5000, що позначено на рис. 11 – ЗП.

Характеристики ЗП:

- потужність – 2.3 мВт;
- габарити – 94x57x11 мм;
- частота – 96.1 МГц.

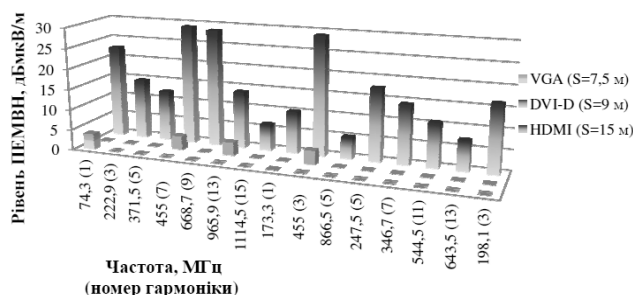


Рис. 9. Результати дослідження рівнів ПЕМВ від кабельних інтерфейсів VGA, DVI, HDMI на максимальній відстані перехоплення

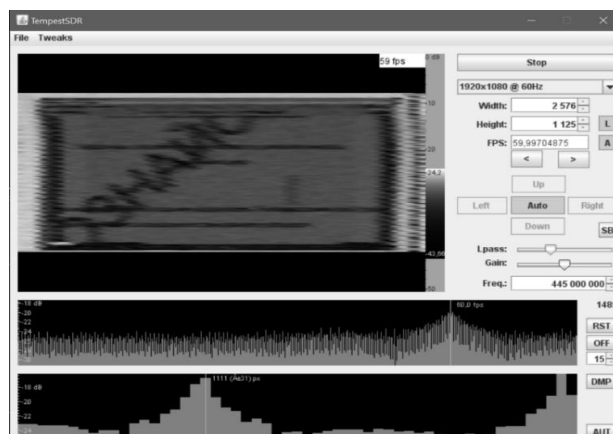


Рис. 10. Демонстрація зняття ПЕМВН з інтерфейсу HDMI з роздільною здатністю 1920x1080 пікселів та частотою оновлення 60 Гц (на частоті 455 МГц і відстані 15 метрів) за допомогою програми TempestSDR та приймача RTL SDR V3

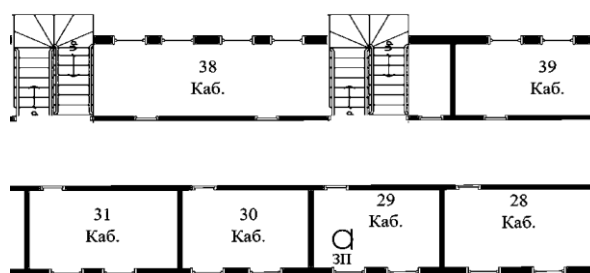


Рис. 11. Фрагмент плану будівлі де розташовано джерело ЕМВ

Верифікація проводилась трьома методами: експериментальні дослідження (вимірювання), розрахунок за допомогою стандартної моделі (на прикладі COST 231 MWM), та уточненої моделі що лягла в основу запропонованого програмного забезпечення. Знаходження периметру зони ЕМД виконувалось по наступним напрямкам: внутрішньо-зовнішній (1), внутрішньо-внутрішній (2-4 – стіни) рис. 12а, внутрішньо-внутрішній (5-6 – стеля, підлога) рис. 12б.

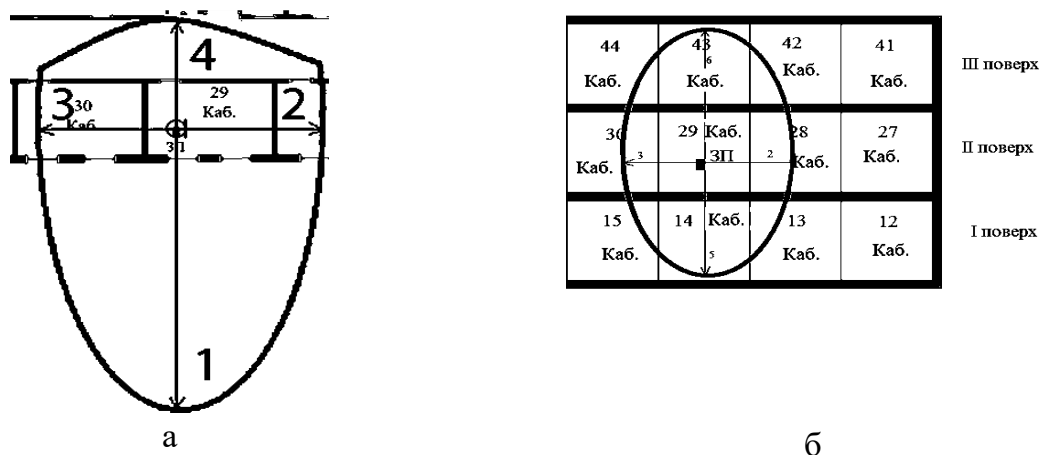


Рис. 12. Схематичне зображення зони ЕМД приміщення отримане за допомогою уточненої моделі розповсюдження електромагнітних випромінювань

Аналіз та зіставлення експериментальних даних, розрахункових за стандартною моделлю та уточненою дозволяє зробити висновок, що точність подібних розрахунків залежить від нового математичного апарату по визначенню коефіцієнта затухання ЕМВ при подоланні суміжних поверхонь (зображено наглядно на рис. 13).

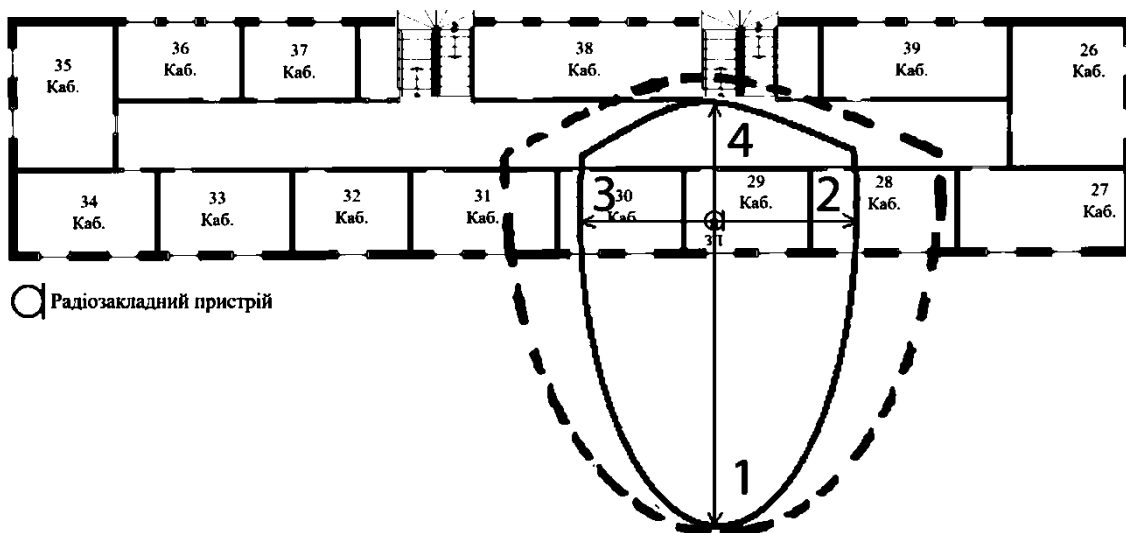


Рис. 13. Порівняння периметрів зон ЕМД отриманих за допомогою стандартної моделі (пунктирна лінія), удосконаленої моделі та експериментальної верифікації (суцільна лінія)

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання підвищення ефективності використання радіотехнічних пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки шляхом уточнення моделей розповсюдження електромагнітних випромінювань та синтезі процесу виявлення їх джерел в урбанізованому середовищі.

На підставі цього було зроблено такі висновки.

1. Моделі для опису, розповсюдження електромагнітних випромінювань всередині приміщень, як: правило, значно складніші за моделі для сигналів у відкритому просторі (поза приміщеннями), що обумовлено такими обставинами, як обмеженість простору між передавачем і приймачем і його складна конфігурація (коридори, повороти, переходи, багатоповерхові будівлі) та необхідність розрахунку ефектів багатопроменевості (сигнали в приймач надходять як в результаті відбиття від поверхонь, так і за рахунок дифракції, а також проникнення крізь перегородки, стіни). Науково-технічне підґрунтя для підвищення ефективності методу забезпечення моніторингу електромагнітної обстановки базується, насамперед, на використанні нових системоутворюючих факторів - складних розрахунків затухань енергії під час розповсюдження електромагнітного випромінювання. Це, в свою чергу, ставить завдання по дослідженню математичних моделей розповсюдження електромагнітних випромінювань та розробці комплексних математичних моделей електромагнітного простору в системі моніторингу електромагнітної обстановки і їх впливу на системи забезпечення електромагнітної доступності.

2. За рахунок виявлених структурних закономірностей розподілу електромагнітних випромінювань всередині приміщень було запропоновано метод уточнення моделей їх розповсюдження. Результатом уточнення стала функція для розрахунку затухання ЕМВ між суміжними поверхнями та функція для розрахунку затухання у стіні, які залежить від частоти. Загальна похибка результатів обрахованих за допомогою отриманої моделі L_f не перевищує 8 %, а L_ω – 12 %. Дані науково-прикладні результати дають підґрунтя для підвищення ефективності використання приладів моніторингу електромагнітної обстановки з використанням апаратного та розрахункового методів виявлення ЕМВ всередині приміщень.

3. Обґрунтовано наукові методи синтезу багатоетапного процесу виявлення неконтрольованих та неліцензованих пристроїв передавання інформації по радіоканалах, що включає етапи: отримання «відомих» ЕМВ (I), виявлення «невдомих» ЕМВ (II), ідентифікації та оцінки небезпеки ЕМВ і ПЕМВН (III) та побудова периметру зони ЗМД, локалізації місця розташування виявленого джерела електромагнітних випромінювань і його локалізації (IV). Результати проведених досліджень: «відомі» випромінювання (I), перелік «невдомих» випромінювань (II), переліки ідентифікованих ЕМВ, параметрів цифрових радіосигналів і частот виявлених джерел ЕМВ (III), координати розташування джерела електромагнітних випромінювань в виділеному приміщенні, формування прицільних перешкод на частотах ідентифікованих джерел ЕМВ і зниження рівня побічних випромінювань перевірених технічних засобів (IV).

Розроблено програмне забезпечення для побудови периметру зони електромагнітної доступності на основі методу удосконалення моделей розповсюдження електромагнітних випромінювань та відповідного нового математичного апарату.

4. Розроблено оригінальний підхід, алгоритм функціонування та методи синтезу одноканальних апаратно-програмних засобів МЕО, що вирішують завдання виявлення неконтрольованих та неліцензованих засобів передачі інформації по радіоканалах та забезпечують підвищення швидкодії їх виявлення в умовах радіоперешкод, в тому числі від радіомовних станцій.

5. Розраховано загальні продуктивні витрати часу $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$ для запропонованого пристрою МЕО, що зменшились на 10 хв (40 %) в порівнянні з середнім часом для мобільних пристроїв МЕО; в порівнянні з середнім часом для стаціонарних пристроїв МЕО $\Delta T_{\text{пр}}^{zj1}$ зменшились на 33 хв (68.75%). Показник ефективності використання запропонованого пристрою АДБ-511, що включає зменшення затрат продуктивного і непродуктивного часу за робочу зміну

складає $E_B = 0.91$ (91%). Підвищення ефективності використання радіотехнічних пристроїв МЕО за плановий період складає 20%.

6. Запропоновано конфігурацію експериментальної установки для верифікації отриманих результатів. Всі експерименти розділені на наступні групи: в межах, прямої видимості; з урахуванням затінення фіксованими об'єктами; для сусідніх приміщень; для приміщень в багатоповерхових будівлях; з урахуванням затінення рухомими об'єктами (людьми); перехід сигналу з приміщення на вулицю і навпаки.

Перевірка адекватності розрахунків за уточненою моделлю з експериментальними даними, зокрема, показала характер ходу експериментальних і розрахункових залежностей, що довело точність отриманих формульних залежностей.

Був проведений аналіз можливості виділення семантичної інформації з ПЕМВН у відеотракті ПК за допомогою SDR приймача RTL–SDR V.3 та програмного забезпечення TempestSDR. Експериментальним шляхом встановлено максимальну відстань перехоплення ПЕМВ кабельних інтерфейсів VGA, DVI, HDMI.

НАУКОВІ ПРАЦІ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бахтіяров Д. І. Методи вимірювань побічних електромагнітних випромінювань. *Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики*: матеріали II Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ, 23–24 жов. 2013 р., редкол. М. С. Кулик та ін., 2013. – С. 26.

2. Бахтіяров Д. І., Андрухович П. О. Аналіз нормативної бази в області захисту інформації. *Проблеми навігації і управління рухом*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Київ 18–20 лис. 2013 р., 2013. – С. 96.

3. Бахтіяров Д. І. GPS Spoofing як засіб перехоплення керування безпілотним літальним апаратом. *Політ. Сучасні проблеми науки*: матеріали XIV Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 2–3 квіт. 2014 р., 2014. – С. 279

4. Бахтіяров Д. І. Козлюк І. О. Аналіз ефективності комплексного застосування заходів завадозахищеності для підвищення стійкості функціонування засобів керування БПЛА. *Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM*: матеріали наук.-техн. конф., м. Київ, 17–19 лис. 2014 р., 2014. – С. 50.

5. Бахтіяров Д. І. Луцький М. В. Аналіз існуючих систем завадостійкого кодування та їх порівняльна характеристика за часом затримки сигналу. *Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM*: матеріали наук.-техн. конф., м. Київ, 17–19 лис. 2014 р., 2014. – С. 53.

6. Бахтіяров Д. І. Дослідження методів побудови захищених каналів управління БПЛА. *AVIA 2015*: матеріали XII міжн. наук.-техн. конф. м. Київ, 2015 р., 2015. – С. 972–975.

7. Бахтіяров Д. І., Конахович Г. Ф., Козлюк І. О. Луцький М. В. Моделювання захищеного каналу керування безпілотним літальним апаратом. *Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах*: матеріали XVI Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 26–28 трав. 2015 р., 2015. – С. 45–48.

8. Бахтіяров Д. І., Коханович Г. Ф., Муранов О. С., Красносільський О. М. Завадостійка захищена система керування повітряним рухом. *Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах*: матеріали XVI Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 26–28 трав. 2015 р., 2015. – С. 45–48.

9. Бахтіяров Д. І., Луцький М. В. Моделювання захищеного каналу керування безпілотним літальним апаратом. *Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-*

комунікаційних систем: матеріали наук.-практ. конф., м. Київ, 2–4 чер. 2015 р., 2015. ТОВ «Центр учбової літератури», 2015. – С. 112–113.

10. Бахтіяров Д. І., Конахович Г. Ф., Лавриненко О. Ю., Давлет'янц О. І. Порівняльний аналіз перетворення Фур'є, косинусного перетворення та Вейвлет-перетворення як спектрального аналізу цифрових мовних сигналів *Наукоємні технології*. 2015. Т. 27. №. 3. – С. 210–220.

11. Бахтіяров Д. І., Конахович Г. Ф., Лавриненко О. Ю. Комп'ютерне моделювання захищеного каналу керування безпілотним літальним апаратом. *Наукоємні технології*. 2015. Т. 28. №. 4. – С. 283–290.

12. Бахтіяров Д. І. Дослідження мультиплексованого сигналу керування безпілотними літальними апаратами. *Collection" Information technology and security"*. 2015. Т. 3. №. 2. – С. 152–159.

13. Bakhtiiarov D. I., Konakhovych G. F., Lavrynenko O. Y. Antonov V. V. A Digital Speech Signal Compression Algorithm Based on Wavelet Transform. *Electronics and control systems*. 2016. №. 2. – С. 30–36.

14. Bakhtiiarov D. I., Kozliuk I. O., Lavrynenko O. Y. Tretiak I. V. Problems of unauthorized interference to the work of UAV and methods of its solving. *Science-based technologies*. 2016. Т. 30. №. 2. – Р. 206–211.

15. Бахтіяров Д. І., Лавриненко А. Ю., Одарченко Р. С., Конахович Г.Ф. Алгоритм сжатия сигналов речевых команд управления функциями беспилотного летательного аппарата. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2016. №3 (130). – С. 57–67.

16. Бахтіяров Д. І. оцінка енергетичної доступності засобів зв'язку з БПЛА в умовах радіоелектронної протидії з боку противника. *Collection" Information technology and security"*. 2016. Т. 4. №. 1. – С. 118–130.

17. Bakhtiiarov D., Lavrynenko O., Konakhovych G. Method of Voice Control Functions of the UAV. *IEEE 4th Conference "Methods and Systems of Navigation and Motion Control"*: materials Intern. sc. conf., Kyiv, Oct. 18–20 2016. 2016. – Р. 47–50.

18. Bakhtiiarov D., Lavrynenko O., Konakhovych G. Protected System of Radio Control of Unmanned Aerial Vehicle. *IEEE 4th Conference "Methods and Systems of Navigation and Motion Control"*: materials Intern. sc. conf., Kyiv, Oct. 18–20 2016. 2016. – Р. 196–199.

19. Конахович Г. Ф., Бахтіяров Д. І., Муранов А. С. Безпека інформаційних мереж та систем: навч. посіб. / ред. Г. Ф. Конахович. Київ: НАУ, 2016. 46 с.

20. Бахтіяров Д. І., Мензюк О. С., Федотов М. М., Якименко М. В. Дослідження методів реалізації захисту Wi-Fi мережі на підприємстві. *Політ 2018. Сучасні проблеми науки: матеріали XVIII Міжн. наук.-практ. конф., м. Київ, 3–6 квіт. 2018 р.* 2018. – С. 47–48.

21. Бахтіяров Д. І., Бережко С. О. Методика визначення контрольованої зони за допомогою модернізованої моделі Хата. *Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM: матеріали наук.-техн. конф., м. Київ 21–23 листопада 2018 р.* 2018. – С. 24.

22. Бахтіяров Д. І., Слюсаренко В. С., Слюсаренко Н. А. Вплив ефекту багатопроменевості на вихідні дані супутникових радіонавігаційних систем. *Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM: матеріали наук.-техн. конф., м. Київ 21–23 лис. 2018 р.* 2018. – С. 31.

23. Bakhtiiarov D., Lavrynenko O., Konakhovych G. An approach to modernization of the Hat and COST 231 model for improvement of electromagnetic compatibility in premises for navigation and motion control equipment. *IEEE 5th International*

Conference “Methods and Systems of Navigation and Motion Control”: materials sc. conf., Kyiv, Oct. 16–18, 2018. 2018. – P. 271–274.

24. Bakhtiiarov D., Lavrynenko O., Konakhovych G. Compression algorithm of voice control commands of UAV based on wavelet transform. *Electronics and control systems*. 2018. №. 1. – С. 17–22.

25. Бахтіяров Д. І. Дослідження побічних електромагнітних випромінювань. *Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем: матеріали наук.-практ. конф. м. Київ, 6–7 чер. 2018 р.* 2018. – С. 7–8.

26. Бахтіяров Д. І., Козлюк І. О. Методика модернізації моделі розповсюдження радіохвиль в середині приміщення для побудови контрольованої зони корпоративної мережі. *Наукоємні технології*. 2019. Т. 43. №. 3. – С. 349–356.

27. Бахтіяров Д. І. Особливості вибору моделі розповсюдження електромагнітних випромінювань всередині приміщення. *Наукоємні технології*. 2019. Т. 44. №. 4. – С. 457–467.

28. Bakhtiiarov D. Konakhovych G., Lavrynenko O., Taranenko A. Protected Voice Control System of UAV. IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments: materials sc. conf., Kyiv, Oct. 22–24, 2019. 2019. – P. 295–299.

29. Бахтіяров Д. І. Оцінка можливості перехоплення семантичної інформації за рахунок побічних електромагнітних випромінювань у відеосистемі персонального комп'ютера. *Colloquium-journal*. 2020. №26. – С. 40–46.

30. Бахтіяров Д. І., Ліщиновська Н. О., Лавриненко О. Ю., Комарницький О. О. Методи оцінювання та прогнозування рівнів електромагнітних випромінювань в урбанізованих середовищах [Електронний ресурс]//European Scientific e-Journal. Режим доступу: DOI: 10.47451/inn2020–12–001 (дата звернення 12.02.2021). Назва з екрану.

АНОТАЦІЯ

Бахтіяров Д.І. Метод підвищення ефективності використання радіотехнічних пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки в урбанізованих середовищах. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.13 – радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій. – Національний авіаційний університет, Київ, 2021.

Дисертаційна робота присвячена рішенням актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає в розробці методу визначення рівнів основних та побічних електромагнітних випромінювань в урбанізованих середовищах за рахунок удосконалення моделей їх розповсюдження. Обґрунтовано необхідність в підвищенні ефективності використання пристроїв моніторингу електромагнітної обстановки на основі аналізу особливостей розповсюдження електромагнітних випромінювань в урбанізованому середовищі та недоліків існуючого математичного апарату для їх опису. Запропоновано структуру експериментальної установки та проведено дослідження особливостей розповсюдження основних та побічних електромагнітних випромінювань в урбанізованому середовищі, зроблено прогнозування характеру їх розповсюдження на прикладі моделі COST 231 MWM. Представлено модель оцінки енергетичних характеристик сигналів в точці спостереження на основі експериментальних досліджень затухання електромагнітних випромінювань в залежності від частоти, характеру перешкоди та відстані в реальних умовах експлуатації та

отримано відповідні графічні й математичні залежності, що лягли в основу методу удосконалення моделей розповсюдження електромагнітних випромінювань.

Обґрунтовано наукові методи синтезу деталізованої структурної схеми процесів виявлення та локалізації неконтрольованих та неліцензованих пристроїв передавання інформації по радіоканалах, що включають розробку програмного забезпечення для визначення зони електромагнітної доступності всередині приміщення. Розроблено оригінальний підхід, алгоритм функціонування та методи синтезу засобів пошуку в умовах радіоперешкод та виявлення джерел електромагнітних випромінювань.

Ключові слова: побічні електромагнітні випромінювання, зона електромагнітної доступності, розповсюдження радіохвиль, модель Хата, модель COST 231 MWM, моніторинг електромагнітної обстановки, коефіцієнт затухання.

АННОТАЦИЯ

Бахтияров Д.И. Метод повышения эффективности использования радиотехнических устройств мониторинга электромагнитной обстановки в урбанизированных средах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – радиотехнические устройства и средства телекоммуникаций. – Национальный авиационный университет, Киев, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи, которая заключается в разработке метода определения уровней основных и побочных электромагнитных излучений в урбанизированных средах за счет совершенствования моделей их распространения. Обоснована необходимость в повышении эффективности использования устройств мониторинга электромагнитной обстановки на основе анализа особенностей распространения электромагнитных излучений в урбанизированной среде и недостатков существующего математического аппарата для их описания. Предложена структура экспериментальной установки и проведены исследования особенностей распространения основных и побочных электромагнитных излучений в урбанизированной среде, сделано прогнозирование характера их распространения на примере модели COST 231 MWM. Представлена модель оценки энергетических характеристик сигналов в точке наблюдения на основе экспериментальных исследований затухания электромагнитных излучений в зависимости от частоты, характера препятствия и расстояния в реальных условиях эксплуатации и получены соответствующие графические и математические зависимости, которые легли в основу метода совершенствования моделей распространения электромагнитных излучений.

Обоснованно научные методы синтеза детализированной структурной схемы процессов обнаружения и локализации неконтролируемых и нелицензированных устройств передачи информации по радиоканалам, включающих разработку программного обеспечения для определения зоны электромагнитной доступности внутри помещения. Разработан оригинальный подход, алгоритм функционирования и методы синтеза средств поиска в условиях радиопомех и обнаружения источников электромагнитных излучений.

Ключевые слова: побочные электромагнитные излучения, зона электромагнитной доступности, распространения радиоволн, модель Хата, модель COST 231 MWM, мониторинг электромагнитной обстановки, коэффициент затухания.

ABSTRACT

Bakhtiyarov D. I. Method of increasing the efficiency of using radio devices for monitoring the electromagnetic environment in urban environments. – Manuscript.

Dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.12.13 – radio engineering devices and means of telecommunications. – National Aviation University, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the decision of the actual scientific and applied problem which consists in the development of a method of definition of levels of the basic and secondary electromagnetic radiations in the urban environments at the expense of perfection of models of their distribution. The necessity in the increased efficiency of use of devices of monitoring of an electromagnetic situation on the basis of the analysis of features of distribution of electromagnetic radiations in the urban environment and lacks of the existing mathematical device for their description is proved. The structure of the experimental setup is proposed and the peculiarities of propagation of main and secondary electromagnetic radiations in the urban environment are studied, the nature of their propagation is predicted on the example of COST 231 Multi-Wall-Model. The nature of the interference and the distance in real operating conditions and the corresponding graphical and mathematical dependences were obtained, which formed the basis of the method of improving the models of electromagnetic radiation propagation.

Scientific methods of synthesis of the detailed structural scheme of processes of detection and localization of uncontrolled and unlicensed devices of information transmission on radio channels, including development of the software for definition of a zone of electromagnetic accessibility indoors are substantiated. An original approach, algorithm of functioning and methods of synthesis of search means in the conditions of radio interference and detection of sources of electromagnetic radiation are developed.

To solve the problem in the dissertation the following tasks have been set and solved:

- the necessity in the increased efficiency of use of devices of monitoring of an electromagnetic situation on the basis of the analysis of features of distribution of electromagnetic radiations in the urban environment and lacks of the existing mathematical approach for their description is proved.

- has been created the model for estimating the energy characteristics of signals at the observation point based on experimental studies of electromagnetic radiation attenuation depending on the frequency, nature of interference and distance in real operating conditions, for obtaining graphical and mathematical dependences. Has been developed method for improving radio wave propagation models (on the example of the COST 231 MWM).

- development of a method for detection and localization of uncontrolled and unlicensed devices for transmitting information on the radio channel in a complex interfering and electromagnetic environment inside a dedicated room of the electromagnetic availability zone and development of a detailed structure of this process.

- development of software that will determine the perimeter of the electromagnetic availability zone on the basis of the obtained mathematical apparatus for the purposes of monitoring the electromagnetic environment indoors and information security.

- conducting experimental verification of the obtained results to assess the peculiarities of the propagation of main and secondary electromagnetic radiation in the urban environment, predicting the nature of their distribution in applied models of COST 231 MWM, based on the results, evaluated by viewing and creating semantic information about side electromagnetic radiation and pickup.

Key words: secondary electromagnetic radiation; electromagnetic reach; radio wave propagation; Hut model; COST 231 MWM; monitoring of the electromagnetic environment, attenuation factor.

Підп. до друку 17.02.2021. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 1,16. Обл.-вид. арк. 1,25.
Тираж 100 пр. Замовлення № 17-1.

Видавець і виготівник
Національний авіаційний університет
03680. Київ – 58, проспект Любомира Гузара, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002