II тур Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт
з кібербезпеки

Шифр «**Ротор**»

Назва роботи: **«ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ РОЗНЕСЕНОГО ПРИЙОМУ ПО ПЕРЕХОПЛЕННЮ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ВІДЕОТРАКТУ ПЕОМ»**

2021

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ 3
ВСТУП 4
1. МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДЕОСИГНАЛІВ, ЩО СТВОРЮЮТЬ ПОБІЧНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВИПРОМІНЮІВННЯ 5
2. СИТУАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ 7
3. МОДЕЛЬ ПРОХОДЖЕННЯ ГАРМОНІК ТЕСТОВИХ СИНАЛІВ НА ЗАСІБ ТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ 9
4. МОДЕЛЬ ОБРОБКИ ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ ПІСЛЯ ВИХОДУ З АНТЕН 9
5. ОЦІНКА МІНІМАЛЬНО-НЕБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ КАНАЛІВ ВЕДЕННЯ РОЗВІДКИ ДЛЯ ЇХ ВРАХУВАННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХИСТУ 12
6. МОДЕЛЬ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ ВІД ОБ’ЄКТУ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДО ЗАЦІКАВЛЕНОЇ СТОРОНИ 14
7. МОДЕЛЬ РОЗТАШУВАННЯ АНТЕН ЗТР НА ОБ’ЄКТІ ЗАЦІКАВЛЕНОЇ СТОРОНИ 16
8. РОЗРАХУНОК ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО МНОЖНИКА ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ 19
9. ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЗНАЧЕНЬ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО МНОЖНИКА КАНАЛУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ 20
10. ОЦІНКА ВПЛИВУ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО МНОЖНИКА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ ПРИ РОЗНЕСЕНОМУ ПРИЙОМІ 21
ВИСНОВКИ 23
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 24

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕОТ - електронно-обчислювальна техніка

ЗТР - засіб технічної розвідки

ЗС - зацікавлена сторона

ІзОД - інформація з обмеженим доступом

КЗ - контрольована зона

ОІД - об’єкт інформаційної діяльності

ОТЗ - основний технічний засіб

ПЕОМ - персональна електронно-обчислювальна машина

ПЕМВ - побічні електромагнітні випромінювання

ТЗІ - технічний захист інформації

ТКВІ - технічний канал витоку інформації

ВСТУП

Технічні канали витоку інформації (ТКВІ) за рахунок побічних електромагнітних випромінювань (ПЕМВ) присутні практично на усіх об’єктах інформаційної діяльності (ОІД). Задача виключення таких ТКВІ – важливий елемент комплексу технічного захисту інформації (ТЗІ). Вибір і упровадження конкретних засобів захисту базується на аналізі кількісних характеристик ТКВІ.

У практичній діяльності використовуються кількісні аналізи дуельних ТКВІ: джерело сигналу ПЕМВ – середовище розповсюджування – засіб технічної розвідки (ЗТР). Ймовірність розвідки ПЕМВ в дуельних ситуаціях визначається і обмежується співвідношенням потужності випромінювання і чутливості апаратури розвідки. Зацікавлена сторона (ЗС) прагне подолати таке обмеження і шукає шляхи такого подолання, в тому числі і за рахунок нових підходів побудови систем розвідки. Сторона, що захищає інформацію з обмеженим доступом (ІзОД), повинна заздалегідь передбачати можливе посилення розвідки і приймати адекватні заходи нейтралізації зростання загроз.

Одним із шляхів посилення розвідки може бути рознесений прийом. В радіотехніці відомі можливі варіанти ведення рознесеного радіоприйому [1] з метою покращання одержання слабких радіосигналів. Причому, в області розвідки ПЕМВ, можуть застосовуватися наступні види рознесеного прийому:

- радіоприйом з рознесенням по частоті (рознесений радіоприйом радіосигналів на різних частотах);
- радіоприйом з рознесенням по простору (рознесений радіоприйом на дві або більше антени чи радіоприймачі, рознесені в просторі);
- комбінації двох варіантів.

Національними стандартами України [2,3], іншими нормативно-правовими документами системи технічного захисту передбачається здійснювати аналіз об’єктів електронно-обчислювальної техніки (ЕОТ), ситуаційного плану, умов функціонування ОІД, оцінювати

ймовірність прояву загроз інформації, підготовлювати засадничі дані для побудови окремої моделі загроз. Оцінка можливостей ведення розвідки шляхом рознесеного радіоприйому, може мати певні особливості, які необхідно враховувати при побудові окремої моделі загроз інформації.

Задля якісного аналізу і проектування комплексу ТЗІ необхідне математичне моделювання процесів ведення розвідки-захисту інформації на окремих імітаційних моделях.

Розробці математичних моделей для аналізу витоку ІзОД шляхом рознесеного радіоприйому за рахунок ПЕМВ і присвячена дана робота. Як буде показано далі, при цьому виникає також необхідність враховування інтерференційної складової поширення енергії побічних електромагнітних випромінювань відеотрактів засобів ЕОТ при їх рознесеному прийомі засобами розвідки.

1. МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДЕОСИГНАЛІВ, ЩО СТВОРЮЮТЬ ПОБІЧНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВИПРОМІНЮІВННЯ

Найбільш небезпечним, з точки зору витоку інформації з ПЕОМ, являється режим відтворення зображення на екрані монітору. Це обумовлено:

- високою інформативністю сигналів;
- потужністю сигналів у колах відеотракту;
- достатньо великою фізичною протяжністю кіл відеотракту у просторі, що позитивно впливає на інтенсивність ПЕМВ;
- послідовністю передачі інформації у часі.

Форма сигналів у відеотракті ЗОТ – наближена до прямокутної. Інформація про знаки тексту, що формується на екрані монітору, вкладається у положення та довжину окремого відеоімпульсу – елементу символу тексту.

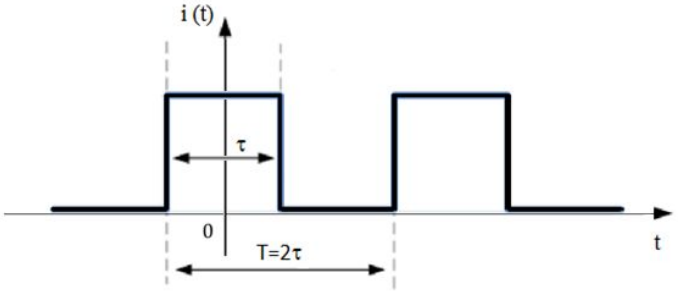
Основні параметри елементарного імпульсу:

- довжина τ;
- амплітуда (у відповідних одиницях напруги чи струму) A;

- положення в часі (від початку рядка) T_τ.

В практиці технічного захисту інформації дослідження ПЕМВ проводяться на основі тестових сигналів. В якості тестових сигналів найчастіше обирають сигнал типу «меандр», тобто послідовність найкоротших регулярних сигналів «піксель чорний - піксель білий» (рис.1).

Рис.1



На практиці величина τ обирається з мінімальним значенням – розміром одного пікселю на екрані монітору. Період повторення тестового імпульсу – 2τ.

З прийнятих умов необхідно визначити характеристику ТКВІ – мінімальну ширину спектру, необхідного для відтворення інформаційного сигналу, як $\Delta f_\tau = 1/\tau$. Вважається, що у випадку розвідки ПЕМВ тестового сигналу захист інформації не відбувається.

Значення Δf_τ можна оцінити по характеристикам режиму роботи монітору:

- кількість n пікселів у рядку та p рядків на екрані монітору;

- частота оновлення $F_к$ зображення на екрані монітору (частота кадрової розгортки);

- доля часу d_n, визначена часом зворотного руху у рядку за період рядку;

- доля часу d_p визначена часом зворотного руху у кадрі за період кадру.

Тоді $\Delta f_\tau = n * p * F_o / [(1- d_n)*(1- d_p)]$.

Наведене дає змогу визначити параметри тестових сигналів, а саме їх гармонік в ОТЗ за відомим виразом ряду Фур'є :

$$G_i = A\ |\sin(\pi i/2)/(\pi i/2)| * C_s, \qquad (1)$$

де A – амплітуда імпульсу;

$\boldsymbol{i}$ – номер гармоніки тестового сигналу монітору ($\boldsymbol{i}$=1, 2, …, $\boldsymbol{I}$);

$\boldsymbol{G_i}$ – амплітуда $\boldsymbol{i}$-ї гармоніки тестового сигналу;

$\boldsymbol{C_s}$ – коефіцієнт впливу форми фронтів і спадів імпульсів на спектр ПЕМВ.

Для спрощення виразу (1) часова аналітична функція, що описує тестовий сигнал, обрана парною.

Підхід до визначення $\boldsymbol{C_s}$ наведений у [4]. Форма та довжина фронтів і спадів впливає на величину гармонік спектру тестового сигналу ПЕМВ особливо з великими номерами $\boldsymbol{i}$. Протяжні і плавні переходи від нульового до максимального рівня і навпаки сприяють до зменшення амплітуд гармонік високих номерів.

Для розробки ефективних засобів захисту інформації від витоку каналами ПЕМВ, вкрай важливо кількісно оцінити рівні випромінювань небезпечних сигналів. Посилаючись на ТР ЕОТ – 95 [5], до показників витоку ІзОД за рахунок ПЕМВ відносяться абсолютні значення (на межі контрольованої зони) напруженості електричного та/або магнітного поля. Оцінку можливості розвідки доцільно проводити саме в дальній зоні, оскільки відстань, на яку поширюються електромагнітні коливання, може сягати десятків метрів, і саме в межах дальньої зони може знаходитися потенційний розвідувальний пристрій.

Як правило, напруженість електричного та магнітного поля визначається експериментально за допомогою вимірювальної апаратури, або експериментально-аналітичним шляхом із застосуванням апаратури контролю.

2. СИТУАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ

Можна спрогнозувати, що в окремих, важливих випадках ЗС може застосувати одночасно кілька ЗТР, спрямованих на перехоплення ПЕМВ, розташованих у кількох різних місцях (рис. 2) за межами контрольованої зони (КЗ) в якій розташований основний технічний засіб (ОТЗ) [9].

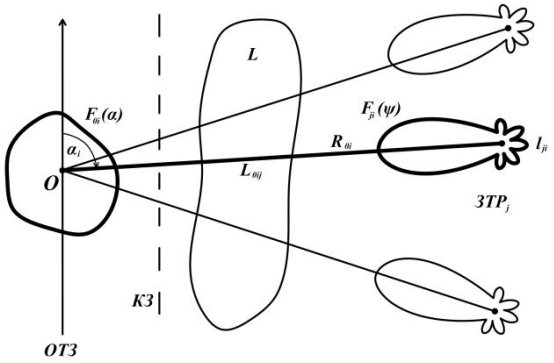


Рис. 2. Ситуаційна схема розташування ОТЗ та групи ЗТР

На рисунку 2 відображені:

O – точка розташування ОТЗ;

F_{Oi} (α_j) – величина діаграми спрямованості ПЕМВ на ***j***-тий ЗТР. Для різних гармонік ***i*** тестового сигналу форми діаграм спрямованості ПЕМВ, як правило, відрізняються;

α_j – азимут напряму діаграми спрямованості ПЕМВ на ***j***-тий ЗТР;

L_{0ij} – величина ослаблення ***i***-ї – гармоніки тестового сигналу ПЕМВ на шляху розповсюдження від ОТЗ до $ЗТР_j$ (враховує вплив елементів конструкцій споруд, рослинності тощо);

j – номер ЗТР (***j*** = 1, 2, …, ***J***);

R_{0j} – відстань від ОТЗ до $ЗТР_j$;

$F_{ji}(\beta)$ – форма діаграми спрямованості антени $ЗТР_j$. Форми діаграм спрямованості антен усіх ***J*** ЗТР можна вважати однаковими. Для різних гармонік ***i***-го тестового сигналу форми діаграм спрямованості можуть відрізнятися одна від одної;

β – кут від головного максимуму спрямованості антени $ЗТР_j$.

l_{ji} – діюча довжина прийомної антени ***j***-того ЗТР на частоті ***i***-ої гармоніки.

Вважається, що антена кожного $ЗТР_j$ орієнтована максимумом на ОТЗ.

Місця розташування ЗТР можуть бути прогнозованими з достатньою точністю.

Задана ситуаційна модель може лежати в основі кількісної оцінки рівнів сигналів гармонік ПЕМВ ОТЗ, що створюються на виході антен ЗТР.

3. МОДЕЛЬ ПРОХОДЖЕННЯ ГАРМОНІК ТЕСТОВИХ СИНАЛІВ НА ЗАСІБ ТЕХНІЧНОЇ РОЗВІДКИ

Напруга сигналу на виході ***j***-ї антени наведеної ***i***-ю гармонікою ПЕМВ тестового сигналу може бути визначена відомим виразом з теорії радіоліній:

$$U^*_{ji} = B\frac{G_i F_{0i}(\propto_j) L_{0ji} F_{ji}(\psi_0=0) l_{ji}}{R_{0j}}, \qquad (2)$$

де ***B*** – коефіцієнт, що враховує постійні параметри випромінювача ПЕМВ поля тестового сигналу і розмірності фізичних величин ***U*** та ***G***.

Поляризаційні характеристики антени кожного ЗТР співпадають з характеристиками поляризації поля ПЕМВ ОТЗ в точці розташування антени. Дане застереження максимізує можливості ЗТР по перехопленню ПЕМВ.

4. МОДЕЛЬ ОБРОБКИ ТЕСТОВИХ СИГНАЛІВ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ ПІСЛЯ ВИХОДУ З АНТЕН

Одержані антенами сигнали підлягають подальшій сумісній обробці. Підходи до обґрунтування варіанті сумісної обробки сигналів при рознесеному прийомі наведені у [6]. Їх застосування необхідно скоригувати з урахуванням уточнень щодо того що:

- у сигналі ПЕМВ відсутня несуча частота, характерна для типового імпульсно-модульованого радіосигналу;

- у сфері ТЗІ використовується енергетичний критерій ефективності оцінки витоку інформації, а не ймовірності помилки прийому сигналу, як у [6];

- рівні сигналів на вході ЗТР, цікаві для аналізу у даному способі рознесеного прийому, лежать в області відношень сигнал/шум, що знаходяться на межі чутливості ЗТР, переважно меншої від неї;

- азимут напрямів α_j з ОТЗ на ЗТР може лежати у секторі від 0^0 до 360^0, що впливає на конкретні значення $F_{Oi}(\alpha_j)$;

- відсутністю необхідності враховувати завмирання сигналів ПЕМВ і частих зміни їх рівнів за умовою нестабільності траси розповсюдження випромінювань до ЗТР.

З наведеного, у якості найбільш доцільного способу оцінки можливості розвідки ПЕМВ, можна запропонувати в якості моделі для дослідження систему оптимального лінійного складення сигналів [6].

Основною задачею такої оцінки є:

- визначення можливості «підняття» сумарного рівня прийнятих сигналів до межі розвідки за рахунок їх сумісної обробки;

- обґрунтування мінімальної кількості необхідних для розвідки каналів (засобів) ЗТР.

Можливий варіант структурної схеми системи ЗТР, призначеній для застосування реалізації рознесеного прийому, наведений на рисунку 2.

Джерело ПЕМВ випромінює ***I*** (1, 2, …, ***i***, …, ***I***) гармонік тестового сигналу.

Прийняті сигнали антеною ***j***-того ЗТР потрапляють на відповідний вхід схеми (Рис.3)

Селектор виділяє смугу частот, що лежить в межах обраної для подальшої сумісної обробки ***i***-тої гармоніки сигналу. Регульована лінія затримки синхронізує прийняті сигнали (їх розбіжність прийому у часи обумовлена, перш за все, різними відстанями між ОТЗ та відповідними ЗТР).

Можлива сукупність гармонік прийнятих сигналів сукупністю ЗТР, може бути представлена матрицею розміром ***JxI*** :

$$\begin{matrix} U^*_{11} & U^*_{12} & ...U^*_{1i} & ... & U^*_{1I} \\ U^*_{21} & U^*_{22} & ...U^*_{2i} & ... & U^*_{2I} \\ ... & ... & ... \; ... & ... & ... \\ U^*_{j1} & U^*_{j2} & ...U^*_{ji} & ... & U^*_{jI} \\ ... & ... & ... \; ... & ... & ... \\ U^*_{J1} & U^*_{J2} & ...U^*_{Ji} & ... & U^*_{JI} \end{matrix} . \qquad (3)$$

Суматор моделює адитивне складення прийнятого сигналу с власними шумами каналу ЗТР$_j$. Власні шуми визначають чутливість каналу ***j***-того ЗТР на

частоті ***i***-ї гармоніки. З однотипності усіх ***J*** ЗТР, можна вважати однаковими їх чутливості на кожній с ***i*** частот гармонік.

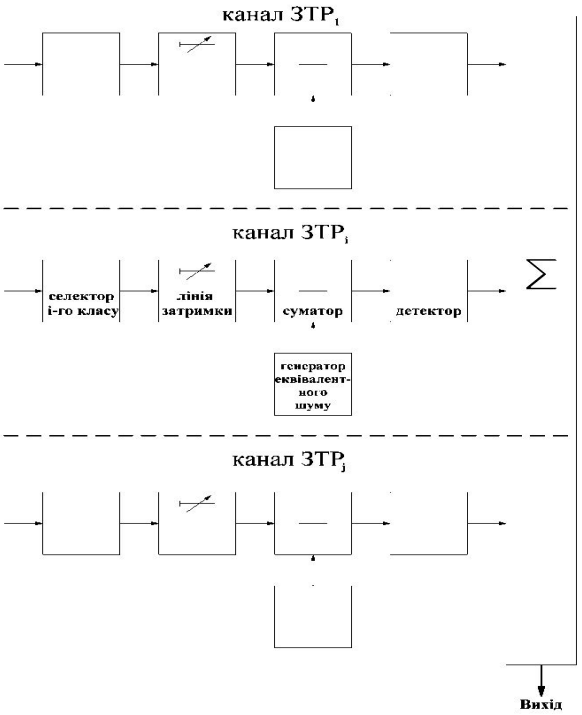


Рис. 3. Система оптимального лінійного складення сигналів рознесеного прийому ПЕМВ

Надалі прийняти сигнали і власні шуми ***j***-того ЗТР детектуються лінійним детектором і потрапляють на суматор.

Сигнали ОТЗ у суматорі складаються алгебраїчно:

$$U^*_{\Sigma} = \sum_i \sum_j U^*_{ji} \,. \quad (4)$$

Загальне число складових $\boldsymbol{U}^*_{ji}$ відповідає числу каналів прийому ***J***.

В кожному каналі відношення сигнал шум можна обчислити за формулою:

$$\Delta_{ji} = \frac{U^*_{ji}}{n_{ji}},$$

де $\boldsymbol{n_{ij}}$ – рівень власних шумів ***j***-того ЗТР на ***i***-тій гармоніці.

Для спрощення подальших виразів, без втрати спільності, доцільно рівні власних шумів кожного з каналів привести до однакової величини ***n***, при цьому величину U^*_{ji} змінити на $\boldsymbol{U_{ji}}$ так, щоб величина Δ_{ji} залишилась незмінною для даного каналу. Нове значення визначається як:

$$U_{ji} = \frac{n}{n_{ji}} U^*_{ji} = \boldsymbol{n} \quad \Delta_{ji} \qquad (5).$$

У наступному аналізі прийнято, що кожний ЗТР обробляє тільки один сигнал ***i***-ї гармоніки з найбільшим відношенням сигнал/шум.

Сумарний сигнал на виході суматора можна записати, з урахуванням останнього виразу:

$$U_\Sigma = \sum_i \sum_j U_{ji} = \sum_i \sum_j n\Delta_{ji} = n \sum_i \sum_j \Delta_{ji}. \qquad (6)$$

Незалежні шуми кожного ЗТР, складаються у суматорі як потужності незалежних шумів, тобто за виразом:

$$n_\Sigma = \sqrt{\sum_i \sum_j n_{ji}^2}.$$

Сумарний рівень шуму на виході суматора, при приведені шумів у каналах прийому на різних гармоніках до однакової величини n, з урахуванням їх складення як ***J*** однакових незалежних величин, можна представити у виді:

$$n_\Sigma = \sqrt{J} n. \qquad (7)$$

Таким чином, на виході суматора (рис. 3) відношення сигнал шум Δ_Σ буде виражено, як:

$$\Delta_\Sigma = \frac{U_\Sigma}{n_\Sigma} = \frac{n \sum_i \sum_j \Delta_{ji}}{\sqrt{J} n} = \frac{\sum_i \sum_j \Delta_{ji}}{\sqrt{J}}. \qquad (8)$$

Даний вираз дозволяє кількісно оцінювати можливість застосування рознесеного прийому ПЕМВ в залежності від відношення сигнал шум Δ_{ji} у кожному каналі і числа таких каналів ***J***.

5. ОЦІНКА МІНІМАЛЬНО-НЕБХІДНОЇ КІЛЬКОСТІ КАНАЛІВ ВЕДЕННЯ РОЗВІДКИ ДЛЯ ЇХ ВРАХУВАННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗАХИСТУ

Вираз (8) дає змогу скласти загальний вираз для оцінки рівня сигнал/шум тестових сигналів на виході системи оптимального лінійного складення сигналів рознесеного прийому ПЕМВ:

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{B}{\sqrt{J}n} \sum_i \sum_j G_i F_{0i}(\alpha_j) \frac{l_{ji}}{R_{0j}}. \quad (9)$$

В (9) також враховано:

- відсутність ослаблення рівня ПЕМВ $L_{0ji} = 1$ на шляху їх розповсюдження (збільшує можливості ЗТР);

- орієнтація антени ЗТР на ОІД $F_{ji}(\psi_0 = 0) = 1;$

- константа ***B*** виведена за знак суми.

Перехоплення ПЕМВ при рознесеному прийомі можливо при $\Delta_{\Sigma} \geq \Delta_n$, де Δ_n – мінімальне відношення/сигнал шум при якому можлива розвідка тестового сигналу.

З (9) та умови перехоплення $\Delta_{\Sigma} \geq \Delta_n$ можна зайти мінімальну кількість каналів рознесеного прийому J при якому можлива розвідка ПЕМВ:

$$J \geq \left(\frac{B}{n\Delta_n} \sum_i \sum_j G_i F_{0i}(\alpha_j) \frac{l_{ji}}{R_{0j}} \right)^2. \quad (10)$$

Якщо визначені значення Δ_{ji}, то мінімальне значення кількості ЗТР ***J*** просто знаходиться з (8):

$$J = \left(\frac{\sum_i \sum_j \Delta_{ji}}{\Delta_n} \right)^2. \quad (10)$$

Алгоритм знаходження J може бути наступний:

1) встановлюються значення Δ_{ij} для можливих гармонік ***i*** та ЗТР ***j;***

2) одержані величини Δ_{ij} ранжуються по їх зменшенню;

3) за формулою (10) послідовно обчислюються праві частини виразу і визначається найменше ***J*** при якому нерівність (10) виконується.

Зауваження: величини Δ_{ij} не повинні перевищувати значення Δ_n.

Одержане ***J*** і покаже необхідну кількість каналів рознесеного прийому які потрібно брати до уваги при оцінці можливості використання рознесеного прийому ПЕМВ.

6. МОДЕЛЬ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ ВІД ОБ'ЄКТУ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДО ЗАЦІКАВЛЕНОЇ СТОРОНИ

Ситуація захисту ПЕМВ малої потужності, у зоні прямої видимості, коли відстань до місця можливого розташування апаратури ЗТР мала і кривизною Землі можна зневажити, приводить до випадку оцінки поширення електромагнітної хвилі над плоскою поверхнею [7]. Доцільність врахування такої ситуації показана в [8], [10]. Суть цього лежить у явищі складення прямого випромінювання від ЕОТ з відбитим від земної поверхні. Різниця довжин шляхів проходження цих сигналів може привести, у крайніх випадках, як до складання гармонік сигналів у фазі, що підвищує їх рівень, так і у протифазі, яке приводить до зменшення сумарного сигналу. Це викривляє вихідний спектр сигналу на вході антен ЗТР за рахунок інтерференції сигналів.

Таким чином, до моделі зменшення рівня сигналу ПЕМВ за законом ***1/r*** додається інтерференційний множник ***V***, величина якого може обмежуватися значеннями від 0 до 2. Це важливо враховувати як для небезпечного сигналу ПЕМВ, так і для створюваних перешкод ЗАЗ.

Вихідна для аналізу ситуація представлена на Рис. 4.

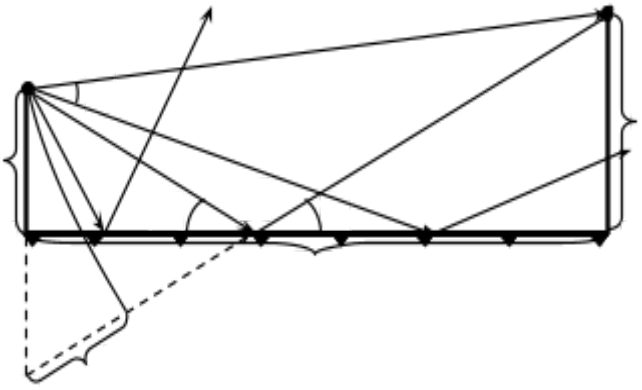


Рис.4 – До визначення впливу плоскої Землі на інтерференцію сигналу ПЕМВ.

Направленість ПЕМВ невисока. Рівень прямого сигналу і сигналу, що спрямований на область відбиття на антену ЗТР вважається однаковий. В

залежності від значення кута падіння θ і електродинамічних характеристик ґрунту модуль коефіцієнт відбиття *Ф* і його фаза *β* може приймати певні значення, які відповідним чином встановлюються.

В точку В приходять дві хвилі: пряма хвиля яка розповсюджується по шляху АВ, і хвиля яка віддзеркалена від земної поверхні в точці С (рис. 4) складаються. Таким чином, складові гармонік ПЕМВ інтерферують (як збільшуються, так і зменшуються) в точках розташування антени ЗТР. Це явище можна характеризувати інтерференційним множником *V*.

В [7] наведено докладний вивід величин інтерференційного множника послаблення *V* хвиль.

$$V = \sqrt{1 + |\Phi|^2 + 2|\Phi|\cos\left(2\pi\frac{\Delta}{\lambda} + \beta\right)} \tag{11}$$

Ф- коефіцієнт відбивання хвилі;

β - фаза коефіцієнта відбивання;

Δ- різниця шляхів проходження прямої та відбитої хвилі.

Даний вираз має два аргументи Ф та β, які можуть бути суттєво різні для горизонтальної та вертикальної поляризації полів ПЕМВ.

Оскільки поляризація ПЕМВ не визначена, то доцільно розглядати дві ортогональні поляризації і , відповідно, два інтерференційних множники $\boldsymbol{V_г}$ та $\boldsymbol{V_в}$.

$$V_в = \sqrt{1 + |\Phi_г|^2 + 2|\Phi_г|\cos\left(2\pi\frac{\Delta}{\lambda} + \beta_г\right)} \tag{12а}$$

$$V_в = \sqrt{1 + |\Phi_в|^2 + 2|\Phi_в|\cos\left(2\pi\frac{\Delta}{\lambda} + \beta_в\right)} \tag{12б}$$

Тоді узагальнений множник ***V,*** із-за ортогональностей полів складових, можна представити у вигляді

$$V_г = \sqrt{V_г^2 + V_в^2}\ . \tag{13}$$

Значення величин $\Phi_г, \beta_г, \Phi_в, \beta_в$ залежать від кутів відбиття θ, електричних параметрів земної поверхні, що відбиває електромагнітне поле, які, в свою чергу, залежать від температури, вологості тощо.

Для практичного моделювання середовища розповсюдження можна використовувати їх графічне представлення [7] (рис. 5).

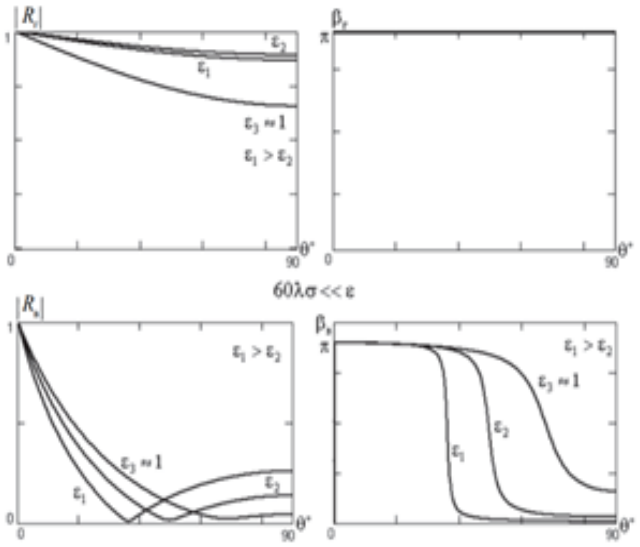


Рис. 5 – Графічне представлення параметрів відбиття від кута відбиття θ та стану поверхні, що відбиває.

Діапазон можливих значень кутів відбиття θ можна визначити з очевидного виразу $\theta=arctg((h_t+h_a)/R)$. На практиці це діапазон кутів $1^0 – 60^0$.

7. МОДЕЛЬ РОЗТАШУВАННЯ АНТЕН ЗТР НА ОБ'ЄКТІ ЗАЦІКАВЛЕНОЇ СТОРОНИ

Місце розташування кожної антени ЗТР на об'єкті ЗС, як зазначено вище, суттєво впливає на рівень прийнятого сигналу.

По-перше, в залежності від різниць фаз прямого і відбитого сигналів. Різниця фаз залежить від співвідношення різниці шляхів проходження прямої та відбитої хвилі та довжини хвилі гармоніки тестового сигналу.

По-друге, від значення величини модуля коефіцієнта відбиття *Ф*. Ця величина визначається величиною поглинання енергії електромагнітного поля речовиною поверхні, що відбиває.

І, по-третє, від кута коефіцієнта відбиття β. Це значення визначається реактивною складовою коефіцієнта відбиття Φ.

Означене дає підставу для обов'язкового дослідження величин можливих значень інтерференційного множника V при оцінці рівня як небезпечного сигналу, так і рівня сигналу перешкод засобів активного захисту.

Завдання моделі – визначити різницю хода прямого і відбитого променів Δ та кут відбиття θ.

Модель базується на очевидних геометричних співвідношеннях взаємного положення джерела ПЕМВ і антени ЗТР.

Для багатьох випадків, що трапляються у практиці ТЗІ, антени ЗТР можуть розташовуватися у вікнах фасадної або бічної сторони споруди ЗС. Нескладно, за наявності (фотографічного) зображення відповідної сторони споруди ЗС визначити висоти нижніх і верхніх частин вікон (з певною точністю, що може бути і не досить критично), розташування рядів вікон одне над одним та їх ширину.

Надалі припускається, що антена ЗТР може бути розташована у любій точці площині вікна. Таким чином, можна визначити можливу висоту розташування антени, проекцію відстані між ЗОТ і антеною, кут відбиття ПЕМВ.

В роботі пропонується один із варіантів аналітичних виразів за якими можна проводити означені розрахунки. Вихідні дані для цього:

R_t – відстань від ЗОТ до площини стіни (до точки T), що співпадає з фасадом (бічною стіною) споруди ЗС, де можуть бути розташовані антени;

x_w – відстань до середини w-го вікна від точки T;

w – номер вікна у поверсі ($w = 1, \ldots, W$);

b – ширина віконного прийому;

h_a – висота вікна a-го поверху ($a = 1, \ldots, A$) над поверхнею землі;

s – висота віконного прийому;

a – номер поверху.

Невизначеність конкретного розташування антени у віконному пройомі визначається випадковим числом ξ, яке у подальшому забезпечує використання методу Монте-Карло [11] для численної оцінки відповідних показників.

Таким чином, можна визначити проекцію відстані між ЗОТ і антеною ЗТР *w*-го вікна:

$$R_w = \sqrt{R_t^2 + (x_w + b(\xi - 1))^2}\ , \qquad (14)$$

де ξ – випадкова величина в межах 0 – 1.

Висота розташування антени на *a*-му поверсі може бути визначена:

$$h_{ra} = h_a + \xi s. \qquad (15)$$

Ілюстрація ситуації для визначення місця розташування антен ЗТР наведена на рис. 6.

Рис. 6 – Схема врахування розташування об’єкту ЕОТ та ЗС

Означене дає змогу провести розрахунки кута відбиття *θ* для відповідної антени, розташованої на *a*-му поверсі у *w*-му вікні як :

$$\vartheta_{aw} = arctg\frac{h_t + h_{ra}}{R_w}\ . \qquad (16)$$

Різницю ходу прямого і відбитого променів Δ для відповідної антени, розташованої на *a*-му поверсі у *w*-му вікні можна визначити за виразом:

$$\Delta_{aw} = R_w \left(\sqrt{1 + \left(\frac{h_t + h_{ra}}{R_w} \right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{h_t - h_{ra}}{R_w} \right)^2} \right). \quad (17)$$

8. РОЗРАХУНОК ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО МНОЖНИКА ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ

Одержані вище вирази дозволяють запропонувати алгоритм оцінки можливих значень інтерференційного множника V.

1. Визначається точка розташування ЗОТ (висота h_t).
2. Визначається положення антени ЗТР за висотою h_a (по № поверху a, розташуванні антени у вікні по висоті за формулою (15)).
3. Визначається проекція відстані від ЗОТ до антени ЗТР по горизонтальному напряму (по № вікна w, положенню антени у вікні по горизонталі за формулою (14)).
4. Визначається значення кута відбиття θ_{aw} для відповідної антени, розташованої на a-му поверсі у w-му вікні за формулою (16).
5. За графіками рис. 5 визначаються величини $\Phi_г, \beta_г, \Phi_в, \beta_в$.
6. За формулою (17) обчислюється величина Δ_{aw}.
7. За формулами (12а). (12б) розраховуються два інтерференційних множники $V_г$ та $V_в$ для відповідної антени.
8. За формулою (13) визначається узагальнений множник V для відповідної антени.
9. Подальше прийняття рішення щодо захисту ПЕМВ від розвідки здійснюється за результатами розрахунків для вільного простору, де поле ПЕМВ змінюється за зворотною залежністю від відстані, з урахуванням впливу узагальненого множника V.

9. ПРИКЛАД МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЗНАЧЕНЬ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО МНОЖНИКА КАНАЛУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ

Аналітична оцінка розподілу множника послаблення розповсюдження електромагнітного поля V , в умовах невизначеності точного розташування засобу розвідки (по дальності, висоті, напряму), характеристик середовища розповсюдження поля (діелектричних характеристик та провідності поверхні відбиття для різних поляризацій поля), дає підґрунтя для застосування ймовірнісного підходу до визначення рівнів сигналу, що може потрапити на вхід засобу розвідки. Аналітичні вирази для цього – (12а) та (12б).

Для малих кутів ковзання, як вже згадувалося вище $\Phi \to 1$ і $\beta \to \pi$. Тоді (11) легко зводиться до виду [8]:

$$V \approx 2\left|\sin 2\pi \frac{h_p h_t}{\lambda R}\right|, \qquad (18)$$

де: $\boldsymbol{R}$ – відстань до засобу розвідки;

$\boldsymbol{h_p}$ – висота засобу розвідки над поверхнею землі;

$\boldsymbol{h_t}$ – висота розташування ЗОТ над поверхнею землі.

Вираз (18) може бути використаний для оцінки розбросу значень $\boldsymbol{V}$ при оцінці розподілу величини поля ПЕМВ в заданих точках простору, визначених для певного напряму на відстані $\boldsymbol{R}$ при можливих висотах $\boldsymbol{h_p}$, та $\boldsymbol{h_t}$. Природно, що довжини хвиль λ відповідають визначеним частотам гармонік тестового сигналу монітора.

Як приклад результатів моделювання інтенсивностей розподілу значень інтерференційних коефіцієнтів передачі інтенсивностей гармонік тестових сигналів для 1-ї гармоніки спектральних складових дискретних сигналів (у дБ) наведені на рис. 7.

Гистограма розподілу значень інтерференціонних коефіцієнтов передачі інтенсивностей гармонік тестових сигналів

Рис.7

З аналізу одержаних результатів витікає, що інтерференція основного та відбитого від поверхні землі тестового сигналу ПЕМВ може в широких межах впливати на рівень прийнятого засобом розвідки сигналу, причому можуть існувати випадки і збільшення його інтенсивності на певних частотах. Таке явище потрібно враховувати в завданнях захисту ПЕМВ.

10. ОЦІНКА ВПЛИВУ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНОГО МНОЖНИКА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮІВНЬ ПРИ РОЗНЕСЕНОМУ ПРИЙОМІ

Можна запропонувати наступну схему дослідження впливу інтерференційного множника розповсюдження ПЕМВ при рознесеному прийомі.

На рівень сигналу, що сприймає кожна з антен ЗТР, впливають ослаблення рівня сигналу за рахунок відстані між ЗОТ і антеною ЗТР та інтерференційний множник, величина якого залежить від відстані, висот ЗОТ і антен ЗТР над поверхнею землі та електродинамічних характеристик земної поверхні.

Оскільки прийнято, що місце розташування ЗС відоме та фіксоване, то на рівень прийнятого сигналу впливає лише інтерференційний множник V, що приведе до зміни відношення сигнал шум Δ у кожному каналі засобу ЗТР зміниться у V раз.

У випадку врахування можливості ведення ЗС рознесеного радіоприйому з метою покращання одержання слабких сигналів ПЕМВ [3] одержаний вираз загального відношення сигнал/шум Δ_Σ Δ_Σ можна записати, як:

$$\Delta_\Sigma = \frac{\sum_i \sum_j \Delta_{ji} V_{ji}}{\sqrt{J}}, \tag{19}$$

де Δ_{ji} Δ_{ji} – відношення сигнал/шум *j*–му каналі на *i*–тій гармоніці прийому;

$V_{ji}\,V_{ji}$ – інтерференційний множник j–го каналу на i–тій гармоніці прийому;

J – число можливих каналів прийому апаратури ЗТР ЗС.

Одержаний вираз дозволяє оцінити можливість перехоплення ПЕМВ і на основі цього подалі розробляти необхідний комплекс ТЗІ.

ВИСНОВКИ

Описаний підхід аналітичної оцінки рівня побічних електромагнітних випромінювань гармонік тестового сигналу відеотракту персональної електронно-обчислювальної машини має певні переваги над існуючими експериментальними, а саме:

- не потребують коштовної контрольно-вимірювальної апаратури з характеристиками еквівалентними характеристикам апаратури розвідки;
- не потребують обов’язкового ввімкнення засобів, до оцінки прихованості випромінювань;
- не потребують наявності самої електронно-обчислювальної техніки, яка може бути фізично відсутня на час проведення оцінки;
- термін проведення оцінки незначний.

Визначено підхід для оцінки загального відношення сигнал/шум у ТКВІ рознесеного радіоприйому ПЕМВ засобів ЕОТ.

Застосування рознесеного прийому зацікавленою стороною дозволяє покращити розвідку ПЕМВ і збільшити ймовірність успішного рішення задачі перехоплення. Це підтверджує необхідність враховувати ТКВІ за рахунок застосування рознесеного прийому зацікавленою стороною.

Запропоновані окремі моделі елементів ТКВІ для кількісної оцінки можливості розвідки ПЕМВ за критерієм відношення сигнал/шум у ЗТР.

Запропоновано підхід по визначенню обмежень кількості каналів рознесеного прийому, які доцільно враховувати при моделюванні дії засобів розвідки.

Показана можливість застосування рознесеного прийому ПЕМВ у випадку недостатньої чутливості апаратури розвідки одного пристрою розвідки для перехоплення інформації таким каналом витоку.

Застосування методу Монте-Карло для генерації параметрів, що впливають на інтерференцію прямого та відбитого від поверхні землі променю розповсюдження ПЕМВ дозволяє оцінювати розброс величин рівнів ПЕМВ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 24375-80 Радиосвязь. Термины и определения (с Изменением № 1), Межгосударственный стандарт.
2. ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ Захист інформації. Технічний захист інформації. Основні положення. ДСТУ 3396.0-96.
3. ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ Захист інформації. Технічний захист інформації. Порядок проведення робіт. ДСТУ 3396.1-96.
4. Заболотний В.І., Герасименко Є.В., Перепадя В.І. Дослідження змін форми сигналу у каналі побічних електромагнітних випромінювань монітору / Заболотний В.І., Герасименко Є.В., Перепадя В.І.// Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научнотехнический сборник. – 2014. – Вып. 176. – с. 116-121.
5. Тимчасові рекомендації з технічного захисту інформації у засобах обчислювальної техніки, автоматизованих системах і мережах від витоку каналами побічних електромагнітних випромінювань і наводок. (ТР ЕОТ-95).
6. Андронов И.С., Финк Л.М. Передача дискретных сообщений по параллельным каналам. Монография. — М.: Советское радио, 1971. — 408 с.
7. Никольский В.В., Никольская Т.И.. Электродинамика и распространение радиоволн. 3-е изд., - М.. Наука, 1989.: Учебное пособие - 543с.
8. Заболотний В.І., Ясиновий С.Ю. Дослідження спектрів побічних електромагнітних випромінювань дискретних імпульсів сигналів в умовах впливу навколишнього середовища / Заболотний В.І., Ясиновий С.Ю.// Прикладна радіоелектроніка. – 2009. Том 8. №3. с. 359-365.
9. Воронов В.Р., Заболотний В.І., Ротор. Модель технічного каналу витоку інформації побічними електромагнітними випромінюваннями відеотракту при рознесеному прийомі. / Воронов В.Р., Заболотний В.І., Ротор// Прикладна радіоелектроніка. – 2019. Том 18. №3,4. с. 208-213.

10. Воронов В.Р., Заболотний В.І., Ротор. Врахування інтерференційної складової технічного каналу витоку інформації побічними електромагнітними випромінюваннями відеотракту при рознесеному прийомі. / Воронов В.Р., Заболотний В.І., Ротор// Радиотехника. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 2020. – Вып. 202. – с. 99-105.

11. Features of Analytical Estimation Methodology of the Compromising Emanations Level of the Test Signal Harmonics of a Personal Electronic Computer Videotract. Perepadia V., Ротор, Zabolotnyj V.// Problems of Infocommunications. Science and Technology, PIC S&T'2020, October 6-9, Kharkiv, Ukraine