

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут інформатики та радіоелектроніки  
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій  
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра захисту інформації  
(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему Дослідження сучасних локаторів нелінійностей

Виконав: студент 6 курсу, групи РТ-713м  
спеціальності (напряму підготовки)

125 Кібербезпека (Системи технічного  
захисту інформації, автоматизація її  
обробки)

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Мормуль А. Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Лізунов С. І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Морщавка С.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя  
2018 рік

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 97 с., 42 рис., 4 табл., 17 джерел.

Мета магістерської роботи – дослідження сучасних локаторів нелінійностей.

Поставлена мета передбачає вирішення таких взаємопов'язаних завдань:

- провести огляд принципів роботи нелінійних локаторів;
- дослідити умови застосування локаторів нелінійностей;
- проаналізувати основні методи виявлення нелінійних елементів;
- виділити обмеження при використанні нелінійних локаторів;
- запропонувати методи вирішення проблеми чутливості і потужності нелінійного радіолокатора.

ЗАКЛАДНІ ПРИСТРОЇ, НЕЛІНІЙНІ ЛОКАТОРИ, НЕЛІНІЙНИЙ РАДІОЛОКАТОР, ЗОНДУЮЧИЙ СИГНАЛ, НАДШИРОКОСМУГОВИЙ СИГНАЛ

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	8
Вступ.....	9
1 Огляд принципів роботи нелінійних локаторів .....	11
1.1 Узагальнена структурна схема НЛ .....	13
1.2 Рівняння нелінійної радіолокації .....	15
2 Аналіз умов застосування локаторів нелінійностей.....	17
2.1 Аналіз способів селекції сигналу на фоні перешкоджаючих впливів .....	17
2.1.1 Спосіб селекції перешкод за відносним рівнем 2-й і 3-й гармонік перевипроміненого сигналу.....	17
2.1.2 Реакції об'єкта на дії вібрації.....	18
2.1.3 Наявність інформаційних ознак в прийнятому сигналі .....	19
2.1.4 Характер зміни амплітуди шуму на виході приймача.....	19
2.2 Аналіз основних характеристик нелінійних радіолокаторів.....	21
2.2.1 Значення робочих частот зондувальних сигналів .....	21
2.2.2 Режим випромінювання і потужність передавача .....	22
2.2.3 Форма, геометричні розміри і поляризація антен .....	24
2.2.4 Чутливість приймача .....	24
2.2.5 Кількість аналізованих гармонік.....	25
2.2.6 Розміри, вага і тип живлення радіолокатора .....	26
2.3 Порівняльний аналіз сучасних нелінійних локаторів .....	27
2.3.1 Лорнет Стар.....	27
2.3.2 Буклет– МД.....	29
2.3.3 NR-900EM .....	30
2.3.4 ORION HGO-4000 High Gain.....	31
2.3.5 Порівняльна характеристика нелінійних локаторів .....	32
2.4 Аналіз методів виявлення нелінійних елементів.....	34

2.4.1 Зондування гармонічним сигналом .....	34
2.4.2 Зондування двочастотним сигналом.....	35
2.4.3 Зондування багаточастотним сигналом .....	35
2.4.4 Зондування амплітудно-модульованим сигналом з подавленою несучою .....	37
2.4.6 Режим «20К» .....	37
2.4.7 Застосування аудіосигналів в НРЛ.....	38
2.4.8 Моноімпульсне зондування .....	38
2.4.9 Зондування надширокосмуговим сигналом .....	40
2.5 Аналіз проблеми чутливості у нелінійних локаторів.....	41
3 Вирішення проблеми чутливості і потужності нелінійного радіолокатора .....	48
3.1 Спосіб підвищення чутливості НРЛ .....	48
3.2. Моделювання і обробка відгуку складного зондуючого сигналу від нелінійних з апроксимацією степеневим рядом .....	54
3.2.1 Синтез програмної моделі .....	54
3.2.2 Спектральний аналіз та результати моделювання.....	58
4 Техніко-економічне обґрунтування.....	68
4.1 Планування розробки науково дослідницької роботи (НДР) .....	68
4.2 Визначення трудомісткості і тривалості НДР .....	68
4.3 Визначення витрат на НДР .....	71
4.3.1 Розрахунок основної заробітної плати .....	71
4.3.2 Єдиний соціальний внесок .....	72
4.3.3 Визначення витрат на матеріали і комплектуючі .....	72
4.3.4 Затрати на спеціальне обладнання.....	73
4.4 Загальні витрати на НДР .....	77
4.5 Техніко-економічна ефективність .....	77
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	79
5.1 Аналіз потенційних небезпек .....	79
5.2 Заходи по забезпеченню безпеки .....	81

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці .....	83
5.4 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки.....	87
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях. Організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях .....	90
Висновок.....	93
Перелік літератури .....	95

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

ЗП - закладні пристрої  
НЛ - нелінійний локатор  
ВЧ – висока частота  
НП – напівпровідник  
МОМ - «метал-окисел-метал»  
ВАХ – вольт-амперна характеристика  
БУО - блок управління і обробки  
ПУ - пульт управління  
БІ - блок індикації  
ППЧ - підсилювач проміжної частоти  
ПРЧ - підсилювач радіочастоти  
ПП - підсилювач потужності  
НВЧ - надвисока частота  
НЕ- нелінійний елемент  
НРЛ - нелінійний радіолокатор  
НРЛС - нелінійна радіолокаційна станція  
АМ - амплітудно-модульований  
ЧМ - частотно-модульований  
НШС- надширокосмуговий  
НО - нелінійний об'єкт  
ПМ - програмна модель  
НДР - науково дослідницька робота  
ПК - персональний комп'ютер

## ВСТУП

Властивість електропровідних матеріалів, що відображають радіохвилі, стало основою виявлення радіолокаційних об'єктів. Ці властивості повністю належать електронним засобам перехоплення інформації. Оскільки нелінійні властивості напівпровідникових елементів схеми використовуються для ідентифікації об'єктів, цей тип локації називається нелінійним, а пристрої - нелійними локаторами.

Більшість людей, що не знайомі з технічним шпигунства, вважають, що пристроєм для підслуховування є тільки радіопередавачі. Проте зловмисники використовують велику кількість електронних пристроїв, які за принципом дії відрізняються від радіопередавачів. Тому саме в таких епізодах нелінійний локатор або локатор нелінійності, який був вперше створений на початку 80-х років, дуже цінний, так як може ефективно виявляти і визначати місцеположення будь-якого електронного пристрою, незалежно від того, знаходиться воно в робочому стані чи ні.

Нелінійний локатор є важливим в практиці служб безпеки, в даний час це технічний засіб, застосування якого гарантує якість обстеження приміщень по виявленню прихованих радіоелектронних пристроїв будь-якого функціонального призначення. У наш час на ринку представлений великий асортимент як вітчизняних, так і зарубіжних нелінійних локаторів, які мають великий попит, незважаючи на те, що вони є недешевим виробом.

Питання використання нелінійних локаторів гостро стоїть не тільки в службах безпеки, а й у відомчій безпеки, персональних службах захисту VIP-осіб, для пошуку вибухових пристроїв. Окремою категорією є пошук мобільних джерел, такий пошук може бути пов'язаний з корпоративною політикою безпеки в організаціях, а також з юридичними обмеженнями на використання мобільних телефонів, наприклад, в спеціальних зонах безпеки або місцях обмеження свободи.

Сьогодні велика кількість різних типів локаторів відрізняються один від одного головним чином чотирма параметрами: типом випромінювання (безперервний або імпульсний); частотою випромінювання; потужністю випромінювання; реєстрацією кількості гармонік - одна (друга), друга (друга, третя). [1]



## 1 ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ РОБОТИ НЕЛІНІЙНИХ ЛОКАТОРІВ

Однією з найбільш складних завдань у сфері захисту інформації є пошук впроваджених закладних пристроїв (ЗП), що не використовують радіоканал для передачі інформації, а також радіозакладок, що знаходяться в пасивному (невипромінюючому) стані. Традиційні засоби виявлення такі, як панорамні радіоприймачі, аналізатори спектра або детектори поля, в цьому випадку виявляються неефективними. Візуальний огляд також не гарантує виявлення подібних ЗП, так як сучасні технології дозволяють виготовляти їх з будь-яким видом камуфляжу, ховати в елементах будівельних конструкцій та інтер'єру.

Саме ця проблема і привела до появи абсолютно нового виду пошукового приладу, що отримав назву нелінійного радіолокатора. Своєю назвою він зобов'язаний закладеному фізичному принципу виявлення підслуховуючих пристроїв.

Антенна нелінійного локатора (НЛ) опромінює об'єкт для визначення наявності в ньому електронних компонентів. Коли високо частотний (ВЧ) сигнал опромінює напівпровідникові сполуки (діоди, транзистори і т.п.), він повертається на гармонійних частотах з певними рівнями, завдяки нелінійним характеристикам з'єднань.

Перешкодами для нелінійного локатора можуть бути відображення від дотичних металевих поверхонь. При контакті таких шарів виникає напівпровідниковий (НП) нелінійний елемент з нестійким «р-п» переходом. У фізиці напівпровідників таке утворення відоме як метал-окисел-метал (МОМ), а виникаючий елемент називається МОМ-діод. МОМ-структура перетворює спектр зондуючого сигналу в частотний спектр, що відрізняється від спектра сигналу, відбитого від електронного елемента. Різниця обумовлено тимчасовою і механічною нестабільністю МОМ-структури і проявляється в співвідношенні рівнів компонентів спектра, що є продуктами

нелінійних перетворень другого і третього порядку. Такі сполуки ми будемо називати помилкові.

Джерелом перешкод можуть служити і радіопередавачі, що працюють на частотах, близьких або кратних частоті зондуючого сигналу.

Для розуміння принципу роботи НЛ представляється необхідним привести найпростіші математичні моделі для НП-з'єднань і МОМ-діодів. Відзначимо, що за структурою НП-з'єднання і МОМ-діоди різні за властивостями. НП-з'єднання мають досить однорідні властивості і, на відміну від МОМ-діодів, їх характеристики описуються досить суворої математичною моделлю. Наведена нижче формула 1.1 описує вольт-амперні характеристики НП-діода, який є найпростішою моделлю нелінійного з'єднання:

$$I = I_s \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right), \quad (1.1)$$

де  $I$  - сила струму;

$I_s$  - сила струму пробою;

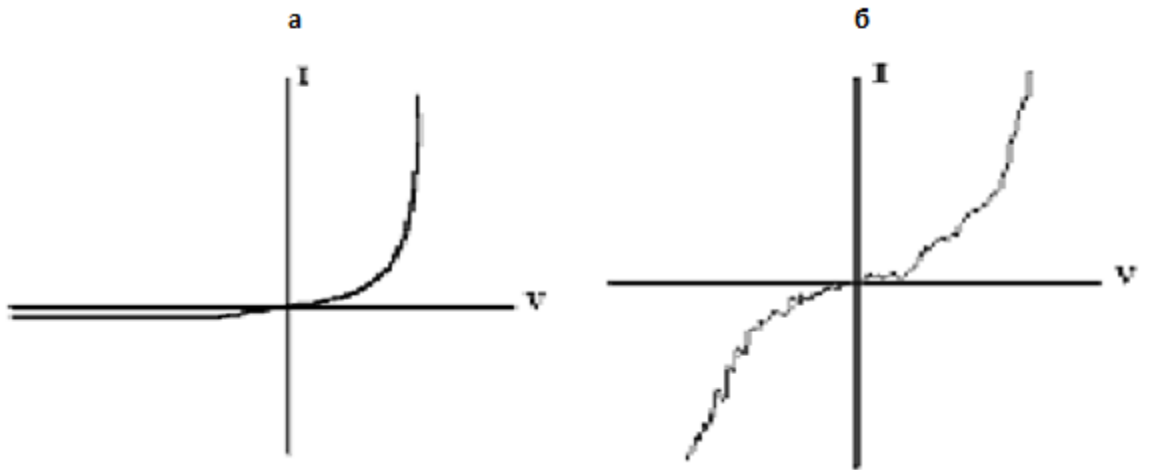
$q$  - заряд електрона;

$V$  - напруга;

$k$  - постійна Больцмана;

$T$  - температура.

Незважаючи на велику різницю серед НП-приладів, всі вони мають досить «чисті», передбачувані характеристики. Для НП-з'єднань наведена вище формула описується кривої (рис. 1.1 а). Для МОМ-діодів ця крива непередбачувана і не може бути описана суворої формулою. Проте з певною часткою похибки вольт-амперну характеристику (ВАХ) МОМ-діодів в більшості випадків можна вважати досить симетричною (рис. 1.1 б)[2].



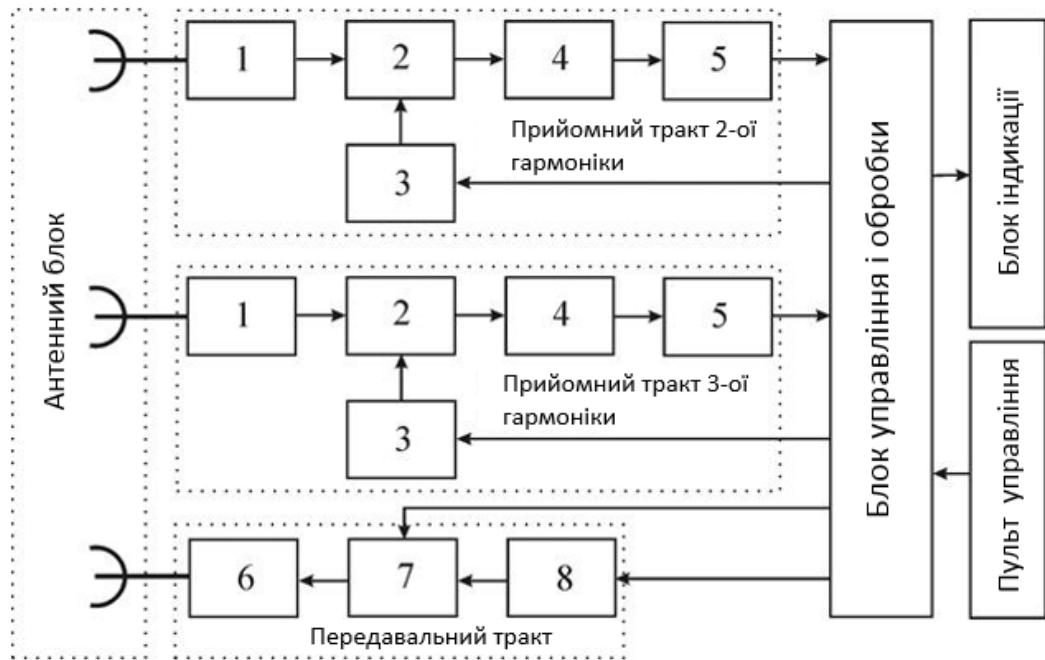
а - характеристика р-п-переходу напівпровідникового приладу; б - характеристика випадкового переходу «метал-окисел-метал»

Рисунок 1.1 – Вольт-амперні характеристики сполук, що викликають появу вищих гармонік в перевипроміненому сигналі [2]

### 1.1 Узагальнена структурна схема НЛ

На рисунку 1.2 представлена узагальнена структурна схема НЛ, але в залежності від виду НЛ, від його особливостей схема може змінюватися.

Згідно зі схемою НЛ має два прийомних тракту і один передавальний, що працюють на конструктивно загальний антенний блок, що складається з трьох антен. Блок управління і обробки (БУО) приймає сигнали від пульта управління (ПУ) і прийомних трактів і видає сигнали на блок індикації (БІ) і передає тракт. Розглянемо більш докладно роботу НЛ за наведеною схемою.



1-підсилювач радіочастоти (ПРЧ); 2-змішувач; 3-гетеродин; 4-підсилювач проміжної частоти (ППЧ); 5-детектор; 6-фільтр; 7-підсилювач потужності (ПП); 8-генератор.

Рисунок 1.2 - Узагальнена структурна схема нелінійного локатора

Генератор по команді БУО починає формувати безперервний сигнал, що надходить на ПП для посилення до необхідного рівня. Рівень вибирається на ПУ оператором і задається БУО на ПП. Далі сигнал надходить на фільтр, що забезпечує високу відповідність сигналу зондування гармонійному. Відфільтрований, він передається на випромінюючу антену антенного блоку, що включає в себе також і прийомні антени трактів 2-ий і 3-ій гармонік відбитого сигналу. Відгуки нелінійного об'єкта з прийомних антен йдуть на відповідні ПРЧ для попереднього посилення. На змішувачах здійснюється перетворення частот в проміжні шляхом змішування з сигналами гетеродинів з подальшим посиленням в ППЧ кожного приймального тракту. З ППЧ сигнали надходять на детектори для демодуляції. БУО обробляє демодульовані

сигнали і видає на БІ рівні прийнятих гармонік. Також в залежності від режиму роботи здійснюється звукова індикація або прослуховування демодульованого відгуку однієї з гармонік.

## 1.2 Рівняння нелінійної радіолокації

На основі накопичених експериментальних та фізичних уявлень процес спостереження в умовах нелінійної локації повністю аналогічний традиційної локації для випадку спостереження об'єктів з активною відповіддю в режимі розпізнавання, при цьому рівняння нелінійної радіолокації (1.2) буде мати вигляд:

$$P_{Nnp.} = \frac{P_{вип.} \cdot G_{вип.} \cdot G_{Nnp.} \cdot \lambda^2}{(4\pi r)^2} \cdot \frac{\lambda^2}{N^2} \cdot G_{НОпр.} \cdot G_{Nвип.} \cdot \xi_N(\omega, P_{вип.}) \cdot K_1(\omega) K_2(\omega_N)$$

(1.2)

де  $P_{Nnp.}$  - потужність відгуку об'єкта на N-ой гармоніці в місці розташування прийомної антени локатора;

$P_{вип.}$  - потужність випромінювання локатора;

$G_{вип.}$  - коефіцієнт посилення випромінювальної антени локатора;

$G_{Nnp.}$  - коефіцієнт посилення приймальної антени локатора на N-ой гармоніці;

$\lambda = c/f$  - довжина хвилі випромінювання локатора (еквівалентна частоті, де  $c$  - швидкість світла,  $f$  - частота випромінювання локатора);

$r$  – відстань до об'єкту;

$N$  - номер прийнятої локатором гармоніки;

$G_{НОпр.}$  - коефіцієнт посилення еквівалентної приймальної антени нелінійного об'єкта;

$G_{Nвип.}$  - коефіцієнт посилення еквівалентної випромінювальної антени нелінійного об'єкта;

$\xi_N(\omega, P_{\text{вип}})$  - коефіцієнт нелінійного перетворення для N-ой гармоніки, який, залежить від частоти і потужності випромінювання локатора;

$K_1(\omega)$  - частотно-залежний коефіцієнт загасання зондуючого сигналу локатора в середовищі поширення;

$K_2(\omega_N)$  - частотно-залежний коефіцієнт загасання сигналу N -ой гармоніки від об'єкта в середовищі поширення. [3]

## **2 АНАЛІЗ УМОВ ЗАСТОСУВАННЯ ЛОКАТОРІВ НЕЛІНІЙНОСТЕЙ**

### **2.1 Аналіз способів селекції сигналу на фоні перешкоджаючих впливів**

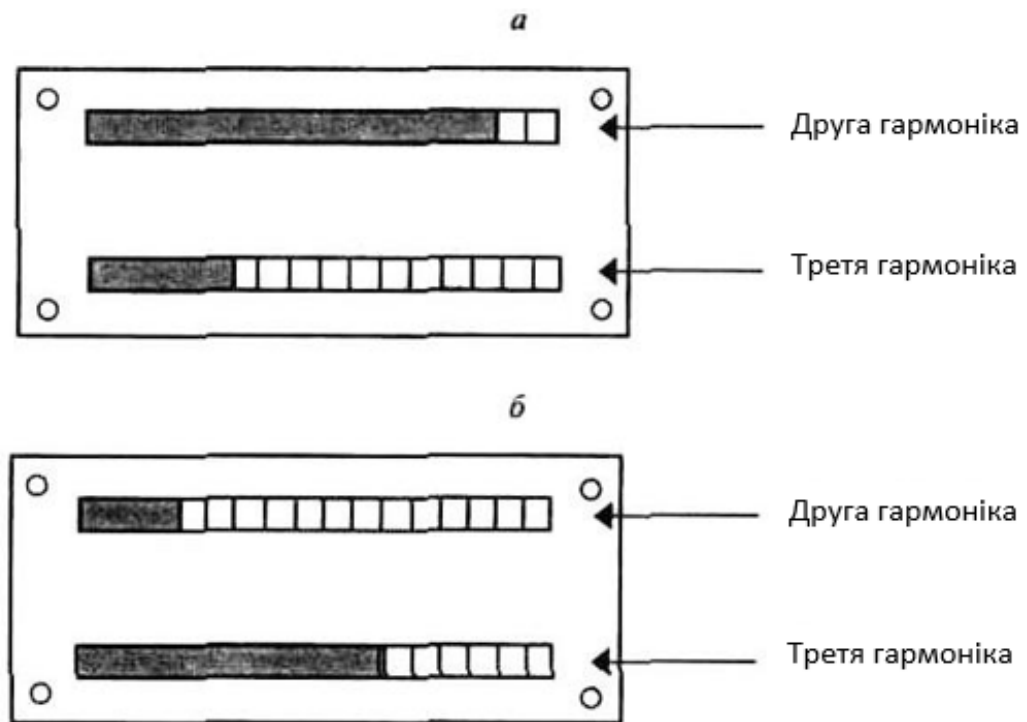
Серед основних способів селекції сигналу на фоні перешкоджаючих впливів, викликаних наявністю в обстежуваному просторі випадкових перетворювачів частоти зонduючого випромінювання, виділяють наступні:

- у відносному значенні рівнів випромінювання, що приймається на 2-й і 3-й гармоніках частоти сигналу;
- за характером зміни амплітуди шуму на виході приймача поблизу перевипромінювального об'єкта;
- реакції об'єкта на дії вібрації;
- за наявністю інформаційних ознак в прийнятому сигналі.[4]

#### **2.1.1 Спосіб селекції перешкод за відносним рівнем 2-й і 3-й гармонік перевипроміненого сигналу**

Цей метод можна застосовувати для локаторів, забезпечених функцією прийому на двох гармоніках частоти зонduючого сигналу. Він заснований на відмінності перетворюючих властивостей напівпровідникових елементів і випадкових МОМ-структур.

Фізична сутність методу полягає в тому, що для напівпровідникових елементів характерний більш високий рівень перевипромінення сигналу на 2-й гармоніці в порівнянні з 3-й (приблизно на 20-40 дБ), і навпаки, контактні джерела перешкод перевипромінюють сигнал на 3-й гармоніці з великим рівнем, ніж на 2-й (рис. 2.1).



а - виявлений напівпровідниковий елемент; б - в зоні опромінення присутнє контактне джерело перешкод

Рисунок 2.1 - Спосіб селекції перешкод за відносним рівнем 2-й і 3-й гармонік перевипроміненого сигналу

### 2.1.2 Реакції об'єкта на дії вібрації

Досить ефективним способом селекції справжніх напівпровідникових об'єктів на фоні несправжніх є фізичний вплив на досліджувану ділянку, наприклад, методом простукування. Характер звуку в головних телефонах при цьому дозволяє судити про тип перевипромінювального об'єкта: в разі помилкового з'єднання в навушниках виникає типове потріскування на фоні тонального сигналу; в разі напівпровідникового елемента сигнал залишається чистим.

При використанні локаторів, які працюють на двох гармоніках, аналіз об'єкта методом простукування супроводжується наявністю додаткової



інформації про випадковий об'єкт: хаотичним зміною рівня на світових індикаторах.

### **2.1.3 Наявність інформаційних ознак в прийнятому сигналі**

Ряд локаторів забезпечують додатковий спосіб аналізу прийнятого від об'єкта сигнального відгуку, а саме прослуховування процесів, що відбуваються в активно функціонуючому об'єкті. Так, можуть бути прослухані мова, передана підслуховуючим пристроєм, тон таймера електронного детонатора і т. п. Цей режим розпізнавання забезпечує практично 100-відсоткову ідентифікацію об'єкта.

### **2.1.4 Характер зміни амплітуди шуму на виході приймача**

Більшість фахівців ґрунтуються на "ефекті загасання" при розпізнаванні напівпровідникового і помилкового з'єднання. Цей ефект проілюстрований на рис.2.2.

Якщо ви слухаєте демодульований аудіовідгук в головних телефонах, підключених до виходу приймача, від справжнього напівпровідника, то в міру наближення до нього антени рівень шумів буде значно знижуватися (приблизно на 8-10 дБ). І навпаки, у міру віддалення від нього рівень шуму почне зростати і поступово повернеться до нормального. Демодульований аудіосигнал досягає найменшого значення безпосередньо над напівпровідниковим з'єднанням (не більш як 5 см) і збільшується до норми в стороні від нього.

При наближенні антени НЛ до помилкового з'єднання, аудіошум може посилитися і досягти свого максимального значення безпосередньо над ним або в деяких випадках злегка зменшитися. У міру віддалення антени НЛ аудіошум повернеться до звичайної норми.

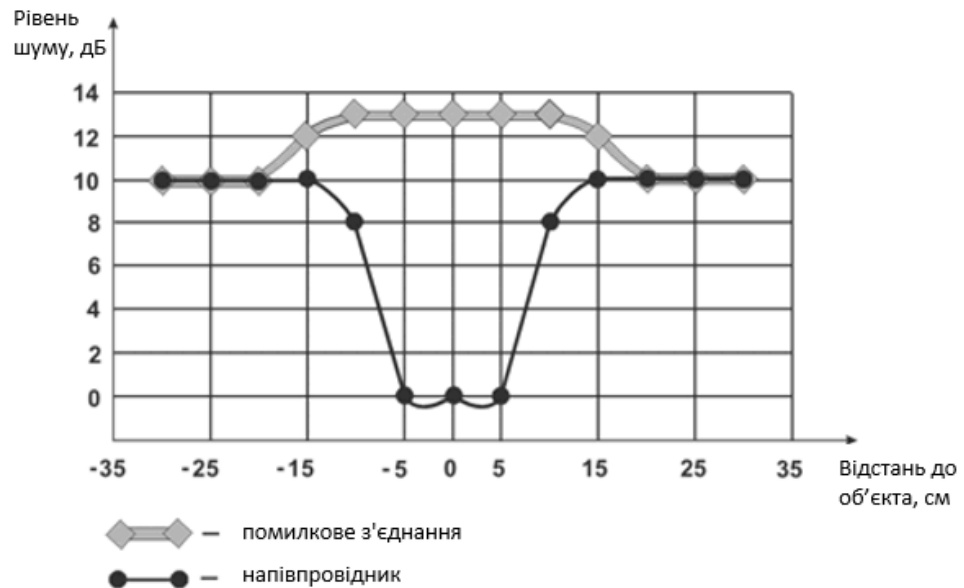


Рисунок 2.2 - Крива аудіошуму для напівпровідника і помилкового з'єднання

Дуже важливо зрозуміти, що в основі теорії "афекту загасання" лежить дуже простий процес. Загалом кажучи, якщо НЛ випромінює немодульований сигнал, то приймається гармонійний сигнал також буде немодульованим, що і виражається в звуковому "ефекті загасання".

Потрібна для "ефекту загасання" аудіо демодуляція, може реалізовуватись як в НЛ з безперервним так і з імпульсним випромінюванням.

Застосування даного способу може бути дещо обмежено наступними двома факторами: [5]

- даний спосіб може бути реалізований тільки в локаторах, обладнаних амплітудним детектором;
- деякі типи випадкових електричних контактів викликають не збільшення, а зменшення амплітуди шуму на виході приймача радіолокатора.

## **2.2 Аналіз основних характеристик нелінійних радіолокаторів**

До основних характеристик нелінійних радіолокаторів відносяться:

- значення робочих частот зондувальних сигналів;
- режим випромінювання і потужність передавача;
- форма, геометричні розміри і поляризація антен;
- точність визначення місця розташування перевипромінювального об'єкта;
- чутливість приймача; максимальна дальність дії і глибина, на якій можливе виявлення закладки всередині радіопрозорого матеріалу;
- розміри, вага і тип живлення радіолокатора.

### **2.2.1 Значення робочих частот зондувальних сигналів**

Значення робочих частот передавачів всіх типів локаторів знаходяться в межах від 400 до 1000 МГц (робочі частоти приймачів, відповідно, складають подвоєну або потрійну частоту передавачів). Однак більшість вітчизняних і зарубіжних зразків працюють в діапазоні, близькому до 900 МГц. Такий вибір обумовлений компромісом у вирішенні наступного протиріччя.

З одного боку, чим нижче частота зондуючого випромінювання, тим краще його проникаюча здатність всередину предметів і середовищ, в яких можуть бути заховані ЗП, і більше відносний рівень вищих гармонік в перевипромінюваному сигналі; з іншого - чим вище частота випромінювання, тим вужче діаграма спрямованості антени локатора при фіксованих геометричних розмірах, отже вище щільність потоку потужності зондуючого сигналу (крім того, на високих - частотах кращими властивостями володіють випадкові антени, в якості яких виступають ніжки навісних елементів, провідники друкованих плат і т. п., а їх розміри, невеликі).

На жаль, багато нелінійних радіолокаторів функціонують на фіксованих частотах без можливості перебудови. Причина такого підходу - спрощення схемотехніки, тобто суттєве зниження ціни. Через це спрощення доводиться розраховуватися гіршими експлуатаційними характеристиками, так як на частотах прийому можуть бути присутніми випромінювання сторонніх радіоелектронних засобів. І якщо навіть рівні сигналів, що заважають невеликі, їх може бути досить для порушення нормальної роботи радіолокаторів, так як чутливість приймальних пристроїв дуже велика.

Природно, більш зручні в експлуатації локатори, які мають можливість перебудови в певному діапазоні. Так, наприклад, в нелінійному локаторі Orion (NJO-400) фірми Research Electronics International (REI) передбачений автоматичний режим вибору робочої частоти в діапазоні 880 ... 1000 МГц. Її оптимальне значення визначається за найкращими умовами прийому для 2-ї гармоніки частоти зондуючого сигналу.

### **2.2.2 Режим випромінювання і потужність передавача**

Залежно від режиму роботи нелінійні локатори діляться на локатори з безперервним і імпульсним випромінюванням. Практично всі закордонні прилади та деякі вітчизняні працюють з безперервними зондувальними сигналами малої потужності (10 ... 850 мВт). Більшість вітчизняних локаторів працюють в імпульсному режимі випромінювання з піковою потужністю 5 ... 400 Вт. Вид випромінюваного імпульсного сигналу наведено на рис. 2.3, де  $P_{\text{пik}}$  - пікова потужність випромінювання,  $\tau_{\text{имп}}$  - тривалість випромінюваних імпульсів,  $F_{\text{имп}}$  - частота проходження імпульсів.

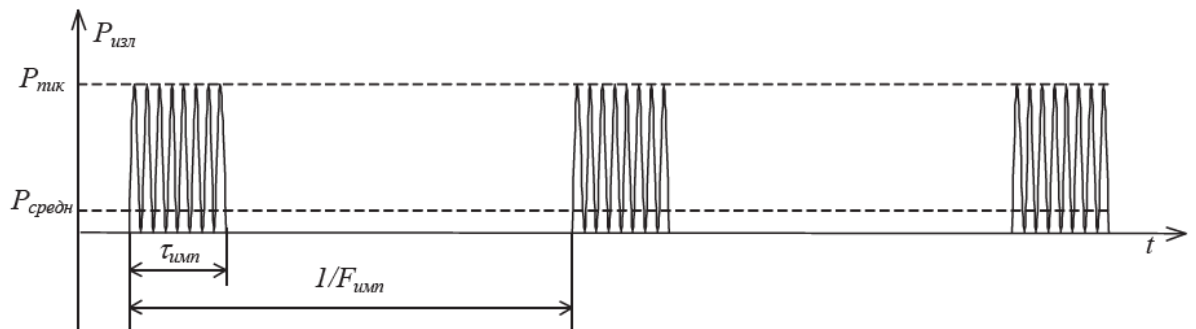


Рисунок 2.3 - Імпульсне випромінювання нелінійного локатора

Через простоту використуваних приймальних пристроїв імпульсні локатори значно дешевше безперервних.

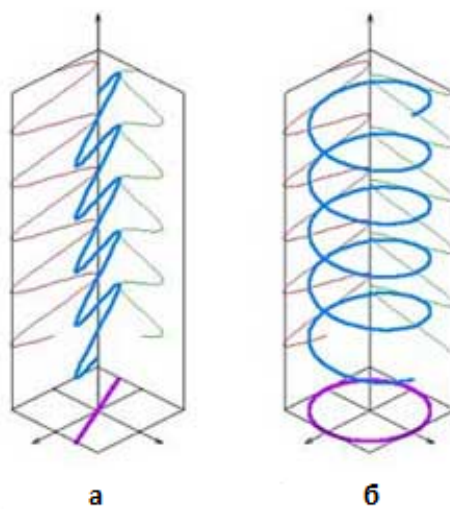
Слід зазначити, що висока потужність і характер випромінювання імпульсних локаторів можуть створити деякі проблеми в плані електромагнітної сумісності із засобами зв'язку, навігації, телемовлення, датчиками пожежної та охоронної сигналізації і т.п. Крім того, зондує випромінювання негативно впливає на операторів, які експлуатують апаратуру. Тому, відповідно до санітарних норм, потужність сучасних локаторів обмежена максимальним значенням 3 ... 5 Вт для безперервного режиму і середнім значенням 0,1 ... 1,5 Вт (до 400 Вт в імпульсі) - для імпульсного. Однак навіть при таких обмеженнях у оператора після години роботи часто починають боліти очі, так як саме вони найбільш чутливі до надвисоко частотного (НВЧ) випромінювання.

У певних сучасних нелінійних локаторів є властивість зміни потужності зондуєчого сигналу. Так, в локаторі NJO-400 рівень безперервного випромінювання регулюється в межах від 0,01 до 1 Вт. Більш того, приймач локатора Superbroom Plus оснащений функцією автоматичного встановлення потужності випромінювання в залежності від величини сигналу на 2-й гармоніці.

### 2.2.3 Форма, геометричні розміри і поляризація антен

Від робочої частоти залежить форма і геометричні розміри антен, важливою характеристикою яких є поляризація. Передавальні антени мають, як правило, лінійну, а прийомні - кругову поляризацію рис 2.4.

Точність визначення місцезнаходження радіоелектронного пристрою, яку дозволяють досягати використовувані розміри антен, відповідає кільком сантиметрам.



а - лінійна; б – кругова

Рисунок 2.4 - Поляризація антен

### 2.2.4 Чутливість приймача

Чутливість приймачів сучасних нелінійних локаторів лежить в межах від 10-15 до 10-11 Вт. У імпульсних вона дещо гірше, що пояснюється відповідним перевагою пікової потужності імпульсних передавачів (приблизно на 35-40 дБ). У більшості радіолокаторів використовуються приймачі з регульованою чутливістю. Діапазон регулювання цього параметра становить 30 ... 50 дБ.

Відповідно до закону збереження енергії (чим вище номер прийнятої гармоніки  $n$ , тим менше її амплітуда) в сучасних локаторах активізуються тільки 2-а і 3-я гармоніки зонduючого сигналу. Проте, нелінійні радіолокатори є приладами ближньої дії, так як коефіцієнт перетворення енергії опромінюючого сигналу в енергію вищих гармонік дуже малий. Конкретна дальність дії залежить від безлічі факторів. В першу чергу, це тип виявленого пристрою, наявність у нього антени і її довжина, умови розміщення об'єкта пошуку (в меблів, за перешкодами з дерева, цегли, бетону і т. п.).

Максимальна відстань, на якому можливе виявлення ЗП обмежена величиною 0,5 м. Це значення відповідає варіанту роботи на відкритих площах або у великих необладнаних приміщеннях, наприклад таких, як готується до задачі будівельний об'єкт. Для офісних приміщень можливості виявлення ще скромніше. Це пов'язано з високою концентрацією різних «перешкоджаючих» об'єктів (канцелярське приладдя, оргтехніка і т. п.).

З поняттям максимальної дальності дії тісно пов'язана максимальна глибина виявлення об'єктів в маскуючому середовищі. Для будівельних конструкцій вона може досягати кілька десятків сантиметрів.

### **2.2.5 Кількість аналізованих гармонік**

Важливою характеристикою є і кількість аналізованих гармонік перевипроміненого сигналу. Через те, що одночасний прийом зонduючого сигналу на двох гармоніках дає незаперечні переваги в порівнянні з однотональним прийомом: він дає можливість здійснювати ідентифікацію виявлених об'єктів (рис. 2.5).

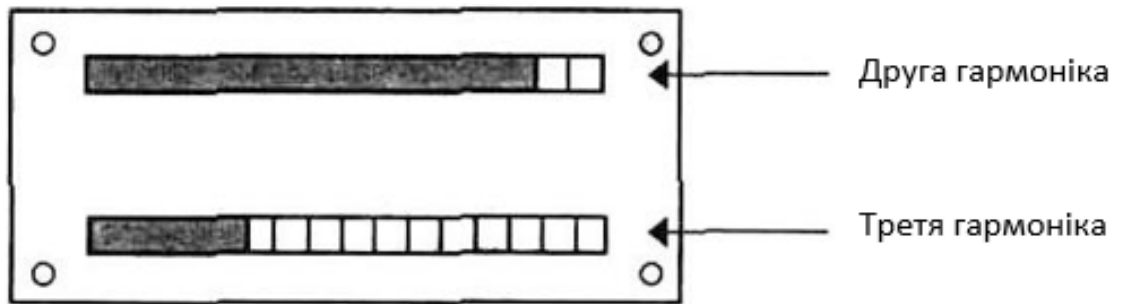


Рисунок 2.5 - Стандартний вид дисплея НЛ з двома аналізованими гармоніками

### 2.2.6 Розміри, вага і тип живлення радіолокатора

Сучасні нелінійні локатори мають невеликі розміри, вагу і дозволяють працювати як від електромережі, так і від автономних джерел живлення (акумуляторів).

Під час роботи з нелінійним локатором дуже важливо мати хороший огляд його дисплея для оцінки показань. На деяких НЛ дисплей знаходиться на блоці приймача, який переноситься за допомогою ремня на плечі або шиї оператора (рис. 2.6 а). Це найменш ефективне рішення відображення інформації через необхідність стеження за показаннями одночасно з переміщенням антени над різними місцями. Деякі НЛ мають дисплей, розміщений на рукоятці. Це поліпшення, але якщо дисплей невиразний (типу РК), то складно прочитувати свідчення під час роботи антеною. Найкращим типом дисплея є дуже яскравий дисплей, розташований на корпусі антени (рис. 2.6 б). Показання з такого дисплея легко зчитувати з різних кутів. Дисплей, вбудований в корпус антени, дозволяє користувачеві одночасно прочитувати свідчення і переміщати антену. Якщо у оператора немає можливості легко зчитувати дисплей, якість пошукових робіт знижується через погіршення інтерпретації рівнів гармонік. [6]





а - дисплей на блоці  
приймача;      б - дисплей на корпусі антени

Рисунок 2.6 - Варіанти розміщення дисплея на НЛ

## 2.3 Порівняльний аналіз сучасних нелінійних локаторів

У наш час на вітчизняному ринку представлений великий асортимент як вітчизняних, так і зарубіжних нелінійних локаторів, які користуються чималим попитом, незважаючи на те, що нелінійний локатор є недешевим виробом.

Розглянемо кілька популярних нелінійних локаторів з різними функціями і особливостями.

### 2.3.1 Лорнет Стар

"Лорнет Стар" - це перший в світі багатофункціональний нелінійний локатор з вбудованим аналізатором спектра 2-ий і 3-ій гармонік і змінними приймально-передавальними блоками в 3 частотних діапазонах: 800, 2400 і 3600 МГц (рис. 2.7). Може застосовуватися для проведення пошукових робіт в приміщеннях, використовуючи переваги всіх 3-х діапазонів. Також ефективний при проведенні доглядових робіт.



Рисунок 2.7 - Нелінійний локатор "Лорнет Стар"

Основні переваги:

- робота в поглинаючих середовищах з високою вологістю, виявлення малогабаритних напівпровідникових елементів і дистанційне виявлення з просторовою селекцією мети;
- універсальний блок управління зі змінними приймально-передавальними блоками і подовжується штанга;
- вбудований аналізатор спектру 2-ий і 3-ій гармонік підвищує ефективність ідентифікації напівпровідникових елементів (тільки для 2400 МГц);
- надійне виявлення SIM карти на відстані 10-15 см;
- автоматична система захисту від зосереджених перешкод;
- безперервний режим для ефективного аналізу природи напівпровідника;
- безпечний рівень випромінювання для оператора;
- наочна індикація в робочому режимі;
- зручне кнопочке управління.

### 2.3.2 БУКЛЕТ – МД

Нелінійний локатор Буклет-МД являє собою комбінований оглядової прилад, що поєднує в собі металодетектор і безпосередньо сам нелінійний локатор, призначений для виявлення та оповіщення про знаходження радіоелектронних компонентів (рис. 2.8) .



Рисунок 2.8 - Нелінійний локатор "БУКЛЕТ-МД"

Основні переваги:

- візуальні ознаки наявності в пристрої локатора відсутні;
- індикація виявлених радіоелектронних пристроїв забезпечується через штатні індикатори металодетектора;
- забезпечує дальність виявлення не менше 10 см;
- крім входу для навушників, є вбудований індикатор радіоелектронних пристроїв, за яким можна виявити пристрої знімання і передачі інформації.

### 2.3.3 NR-900EM

"NR-900EM " - Призначений для обстеження будівельних конструкцій та елементів інтер'єру приміщень (рис. 2.9). Прилад застосовується для виявлення і локалізації таємно встановлених електронних пристроїв негласного отримання інформації в різних режимах роботи: у режимі передачі, у вимкненому або (для пристроїв з дистанційним управлінням).



Рисунок 2.9 - Нелінійний локатор "NR-900EM "

Основні переваги:

- високий енергетичний потенціал приладу (відношення потужності передавача до чутливості приймача + 146дБ), забезпечує ефективний пошук електронних пристроїв в масивних стінах, в тому числі залізобетонних, а так само дозволяє виявляти ЗУ за армуючої сіткою;
- одночасний прийом другий і третій гармонік зондуючого сигналу, візуальна і звукова індикація рівнів відбитих сигналів, а так само режим аналізу обвідної, дозволяють оператору відрізнити сигнали, відбиті від

електронних пристроїв, від сигналів природних (корозійних) нелінійних відбивачів;

- гостронаправлених антенна система, широкий діапазон регулювань основних параметрів приладу забезпечують високу точність локалізації місця розташування шуканих пристроїв і полегшують проведення пошукових заходів;

- прилад забезпечує можливість роботи в умовах перешкод від сигналів стільникового зв'язку стандарту GSM-1800.

### **2.3.4 ORION HGO-4000 High Gain**

"ORION HGO-4000 High Gain" - прилад використовується для виявлення радіоелектронних пристроїв, в тому числі: радіомікрофонів, мікрофонних підсилювачів, диктофонів, приймачів дистанційного управління, інших пристроїв, що містять напівпровідникові компоненти (рис. 2.10). Дана модель володіючи всіма можливостями що і модель NGE-4000, але має підвищену чутливість і потужність в порівнянні з ним. Ця відмінність дозволяє використовувати Orion HGO-4000 для виявлення напівпровідникових компонентів на більшій дальності в щільних матеріалах, таких як бетон, що дуже важливо при пошуку підслуховуючих пристроїв вмурованих в стіни. Використовується для пошуку «- підслуховуючих і підглядаючих» - пристроїв в офісах, квартирах та автомобілях.



Рисунок 2.10- Нелінійний локатор "ORION HGO-4000 High Gain"

Основні переваги:

- конструкція антенного блоку покращує ефективність передавача і чутливості приймача;
- запатентований алгоритм обробки сигналу DSP, що збільшує чутливість;
- широкий частотний діапазон від 800 до 1005 МГц;
- запатентована функція безперервної зміни частоти;
- малу вагу, ергономічний дизайн, який полегшує експлуатацію;
- програмне забезпечення, що постачається в комплекті, дозволяє здійснювати повне дистанційне керування, що дозволяє використовувати Orion для антитерористичних заходів. [7]

### 2.3.5 Порівняльна характеристика нелінійних локаторів

Для зручності вибору і аналізу нелінійних локаторів наведемо таблицю 2.1, в якій будуть представлені основні характеристики розглянутих нелінійних локаторів.

Та бл иц я 2.1 - По рів ня ль на ха рак тер ист ик а не лін ійн их ло кат орі в	Вага в робочому стані, кг	1	0,8	2,2	1,5
	Розміри в транспортному / робочому положенні, мм	40x20x7	83x41,3x 42	54x42x15/ 1,5x16,2x6 ,3	15,9x37,8x47
	Час роботи від акумулятора, год	3//1,5	4	не менше 8	1 час 20 хвилин
	К-ть аналізо-ваних гармонік	2	1	2	2
	Динаміч-ний діапазон, дБ	24	-	не менше 25	-
	Чутли-вість, дБм	-110	-120	Не гірше -150	-133
	Полярн-зація антени	Кругова	Кругова	кругова	кругова
	Потужність сигналу (імп / непр), Вт	10/0,3	1	не менше 200	0.01-1.4
	Вид зондуючого сигналу	імпульсний, неперервний	імпульсн ий, неперерв ний	імпульсни й	імпульсний
	Частота сигналу, МГц	800, 2400 и 3600	2400	860	800 - 1005
Назва виробу	Лорнет Стар	Буклет- МД	NR-900E М	ORION HGO-4000 High Gain	

## **2.4 Аналіз методів виявлення нелінійних елементів**

Існує багато різноманітних методів виявлення нелінійних елементів (НЕ), які використовують різні принципи нелінійної радіолокації, мають свої переваги і недоліки. Розглянемо найбільш поширені з них.

### **2.4.1 Зондування гармонічним сигналом**

При опроміненні напівпровідника гармонічним сигналом перевідображений сигнал збагачується гармоніками. Вольт-амперна характеристика напівпровідникового радіоелектронного елемента має квадратичний характер, а ВАХ помилкових напівпровідників, отриманих в місцях з'єднання різних металів, окислення, апроксимується поліномом третього ступеня. При використанні цього методу в відбитому сигналі особливий інтерес становлять друга і третя гармоніки, так як співвідношення їх рівнів вказує на тип НЕ. Для справжнього напівпровідникового елемента рівень другої гармоніки вище рівня третьої, а при опроміненні помилкового напівпровідника - ситуація зворотна.

Завдання виявлення НЕ зводиться до вузькосмугового прийому відбитих ехосигналів і аналізу другої і третьої гармонік, відповідних єдиній частоті зондування.

Працюючі за таким принципом нелінійні радіолокатори (НРЛ) мають можливість визначати тип напівпровідника. Але дана перевага породжує основний недолік НРЛ такого типу - наявність двох приймачів, що працюють на подвоєній і потроєній гармоніці відповідно. Це призводить до проблеми радіочастотної ізоляції. [8]



### 2.4.2 Зондування двочастотним сигналом

В даному методі НЕ зондується двочастотним сигналом, тобто НЕ зондується одночасно гармонійними сигналами  $S_1$  і  $S_2$  з частотами  $f_1$  і  $f_2$  ( $f_2 > f_1$ ) відповідно. Приймач такого НРЛ виділяє з спектра відбитого сигналу комбінаційні гармоніки виду  $n_1 f_1 \pm n_2 f_2$ , де  $n = \{1, 2, 3, \dots\}$ .

При цьому сигнали від НЕ, як правило, мають найбільшу величину на частотах  $f_1 \pm f_2$ . Дані комбінаційні частоти обумовлені, квадратичним членом ВАХ справжнього напівпровідникового переходу. При наявності помилкових напівпровідників перевипромінений сигнал має найбільший рівень на частотах  $2f_1 - f_2$  і  $2f_2 - f_1$ .

### 2.4.3 Зондування багаточастотним сигналом

Іноді в якості зондуючого сигналу використовують сигнал, спектр якого складається з  $N$  рівноамплітудних спектральних складових. У цьому випадку вдається збільшити потужність сигналу. Даний прийом використовується замість збільшення потужності зондуючого сигналу. Середня потужність подвоєних спектральних складових відбитого сигналу збільшується пропорційно  $N$  при виконанні наступної умови (2.1):

$$\omega_i - \omega_{i+1} = \omega_{i+1} - \omega_{i+2}. \quad (2.1)$$

Таким чином, в освіті подвоєних частот в спектрі відбитого сигналу беруть участь більше двох гармонійних складових. Так, когерентно підсумовуються  $N - 1$  гармонійних складових (2.2) :

$$\omega_{vid} = \omega_1 + \omega_N = \omega_2 + \omega_{N-1} = \omega_3 + \omega_{N-2} = \dots \quad (2.2)$$

Збільшення потужності виконується за умови повної синфазності спектральних складових. [8]

Переваги багаточастотного зондуючого сигналу зведені в таблицю 1.

Таблиця 2.2 - Переваги багаточастотного сигналу

Позитивний ефект (в порівнянні з одночастотним режимом)	Фізичний процес, обумовлений багаточастотним режимом роботи
Збільшення дальності виявлення нелінійних об'єктів: в 2-2,5 рази у вільному просторі; в 1,6-1,8 рази поблизу поверхні ґрунту	Зростання нелінійної ефективної поверхні розсіювання на 15-25 дБ при перебудові частоти на $\pm 15-20\%$ за рахунок резонансних явищ при перевипроміненні НВЧ-сигналу
Збільшення ймовірності виявлення нерухомих об'єктів з порізаною діаграмою зворотного розсіювання	Зміна діаграми зворотного розсіювання нелінійного об'єкта
Збільшення дальності виявлення об'єктів з електронними пристроями, що мають екрануючі металеві корпуси	Резонансні явища в отворах і щілинах металевого корпусу
Розпізнавання виявленого нелінійного об'єкта	Сукупність стійких резонансних ефектів в лінійних і нелінійних елементах об'єкта пошуку при перевипроміненні НВЧ-сигналу
Збільшення дальності виявлення об'єктів, розташованих за екрануючими перешкодами (з/б спорудами, нерівностями ґрунту і ін)	Інтерференційні і дифракційні явища на верхньому краї перешкоди (ефект «посилення» поля перешкодою)
Зменшення вимог до рівня власних гармонік НВЧ-передавача нелінійної радіолокаційної станції (НРЛС) при двохчастотному режимі роботи	Використання при прийомі фіксованих комбінаційних частот в спектрі відбитого сигналу (замість гармонік)
Зменшення перешкоджаючого впливу корпусу носія (на 30-60 дБ) при двохчастотному режимі роботи НРЛС	Розбіжність бічних і задніх пелюсток діаграм спрямованості передавальних антен НРЛС. Рознос між антенами не менше $(2-3)\lambda_1$

Недоліком такого методу виявлення нелінійних об'єктів є те, що при збільшенні смуги спектра зонduючого сигналу необхідно збільшити і смугу приймача нелінійного радіолокатора, що призводить до зменшення відносини сигнал-шум. Крім того, необхідно використовувати антену з більш широкою смугою пропускання, що зменшує її коефіцієнт посилення.

#### **2.4.4 Зондування амплітудно-модульованим сигналом з подавленою несучою**

В даному випадку в якості зонduючого сигналу використовується амплітудно-модульований сигнал (АМ-сигнал) з подавленою несучою. Спектр такого сигналу представляє дві гармонійні складові, віддалені від подавленої несучої на однакову відстань вгору і вниз, чисельно рівне номіналом піднесучої частоти.

При наявності нелінійності на приймальній стороні реєструють залежності рівнів амплітуд комбінаційних від бічних складових зонduючого АМ-сигналу з подавленою несучою на третій і другій гармоніках, а також амплітуди відновленої несучої частоти на другій гармоніці. По виду отриманої залежності здійснюють розпізнавання типу нелінійності на основі розрахунку значень коефіцієнтів степеневого полінома, що апроксимує ВАХ нелінійного елемента [9].

Перевага використання сигналу такого виду полягає в підвищенні надійності ідентифікації нелінійного об'єкта, тим самим зменшується кількість помилкових спрацьовувань і, як наслідок, підвищується ймовірність розпізнавання типу об'єкта з нелінійними властивостями.

#### **2.4.6 Режим «20К»**

Режим «20К» отримав назву виходячи з частоти проходження зондувальних імпульсів рівної 20 кГц. При цьому здійснюється виділення

огиноючої перевипроміненого сигналу. Для справжнього напівпровідника детекторний звуковий сигнал не є чутним людським вухом. Якщо напівпровідникове з'єднання помилкове, то не всі зондувальні імпульси перевідбиваються, отже, детектується аудіосигнал з більш низькою частотою, який прослуховується людським вухом. Недолік даного методу полягає у великій імовірності помилкового визначення справжнього НЕ замість помилкового [10].

#### **2.4.7 Застосування аудіосигналів в НРЛ**

Деякі НРЛ використовують метод прослуховування демодульованих аудіосигналів. Прикладом може служити прослуховування синхронізуючого відеосигналу камер спостереження. Нелінійний радіолокатор повинен забезпечувати якісну аудіодемодуляцію як в АМ-, так і в частотно-модульованих (ЧМ) режимах, щоб використовувати їх можливості для ідентифікації НЕ. Наприклад, використовуючи частотну демодуляцію, можна почути перемикання фаз в електронних пристроях. Недолік даного методу полягає в тому, що необхідно вміти розпізнавати характерні звуки певних електронних пристроїв. За допомогою даного методу також можна відрізнити помилковий напівпровідник від справжнього, використовуючи метод «простукування». Справжній напівпровідник при цьому не видає додаткових звуків, а помилковий супроводжується тріском. Крім того, для виявлення НЕ можна використовувати ЧМ-тон, що підвищує ймовірність виявлення, але при цьому втрачається можливість розрізнити справжній напівпровідник від помилкового.

#### **2.4.8 Моноімпульсне зондування**

Метод моноімпульсної локації дозволяє виконувати практично миттєвий огляд заданої зони простору, використовуючи обмежену кількість

багатодіапазонних антен, що допускають випромінювання і прийом багатодіапазонного широкосмугового сигналу. Типовий частотний діапазон систем радіопередачі відповідає частотному діапазону зв'язкових радіостанцій, які часто використовуються в якості каналів радіоуправління, і займає смугу частот від 30 до 3000 МГц.

Для побудови такого НРЛ зонduючий сигнал розбивається на дискретні зони, спектр в яких є безперервним. Ширина спектра кожної з дискретних зон порівнянна з їх центральною частотою. Розстановка центральних частот дискретних зон широкосмугових сигналів порівнянна з їх шириною спектра. Сигнали, що випромінюють в таких дискретних зонах, відносяться до класу багатодіапазонних широкосмугових сигналів [11].

Для виявлення відбитих сигналів від НЕ на 2-ій гармоніці спектр зонduючих сигналів в кожній з дискретних зон повинен мати октавну структуру. Число октавних зон зазвичай становить приблизно 3-4. Спектр зонduючого сигналу для даного випадку представлений на рис.2.11.

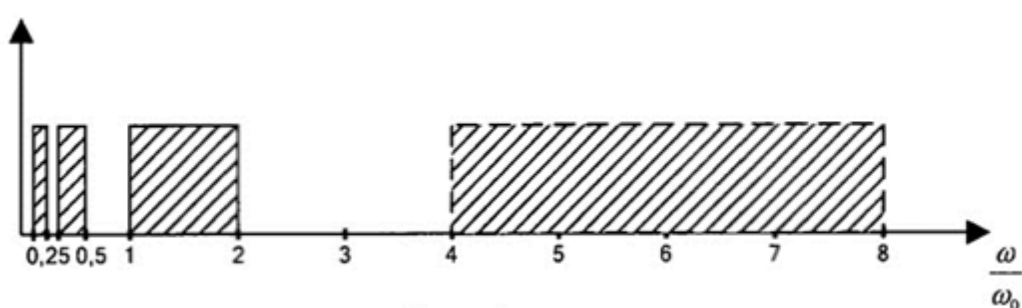


Рисунок 2.11 – Спектр зонduючого багатодіапазонного широкосмугового сигналу

Обмеження по ширині спектра кожної дискретної зони є необхідною умовою для виділення на фоні основної гармоніки гармонік вищого порядку.

При зондуванні в НЕ виникають вимушені коливання. Якщо резонансний контур радіоприймального / передавального пристрою збігається зі спектром дискретних зон зонduючого сигналу, то в контурі

виникають резонансні коливання, амплітуда яких наростає за лінійним законом. Резонансні коливання також виникають і на кратних гармоніках. Але для виникнення резонансу на кратних гармоніках необхідний зонduючий сигнал з більшою енергією. Необхідне збільшення енергії мінімально для гармонік з найменшою кратністю, наприклад для другої гармоніки [11].

Виникнення резонансних коливань в резонансному контурі призводить до модуляції по періодичному закону вхідного опору радіоприймального або вихідного радіопередавального пристрою. В такому випадку резонансний контур перетворюється в контур зі змінними параметрами, що працює як параметричний підсилювач, що призводить до збільшення амплітудного рівня відгуку, відбитого від НЕ зонduючого сигналу, і розширенню смуги пропускання контуру. Посилення відгуку виникає за рахунок використання енергії зонduючого сигналу або енергії джерела живлення нелінійного елемента.

Розширення смуги пропускання контуру відбувається не тільки на основній гармоніці, але також на наборі гармонійних складових  $2\omega_0/K$ , де  $K = 1, 2, 3, \dots$  - ціле число. Ці резонансні коливання називаються «узагальненим» резонансом.

За умови порушення параметричних коливань в НЕ відбувається збільшення дальності виявлення, в порівнянні з нерезонансним (непараметричним) збудженням відгуку. Збільшення дальності виявлення відбувається за рахунок параметричного посилення відгуку на основній гармоніці і виникнення вікна «прозорості» на вищих гармоніках, наприклад другій, і становить величину в 10-30 разів більшу в порівнянні з нерезонансним збудженням НЕ. [11]

#### **2.4.9 Зондування надширокосмуговим сигналом**

В даному методі НРЛ як зонduючого сигналу використовує послідовність надширокосмугових (НШС) імпульсів. Кількість імпульсів має

бути не менше двох. При цьому перший імпульс є опорним сигналом, а наступні - результатом фазової або амплітудної обробки першого. Під характеристикою нелінійності розуміється набір часових залежностей різниць відгуку досліджуваного НЕ на опорний тестовий вплив і згортки зворотного перетворення Фур'є від відносини спектрів відгуку об'єкта на  $n$ -е вплив [12].

При цьому енергія тестового впливу в 17,5 разів нижче в порівнянні з класичним одночастотним підходом. Крім того, збільшення бази другого тестового впливу дозволяє підвищити здатність виявлення у НШС НРЛ.

Існує ще один спосіб виявлення НЕ за допомогою НШС сигналів. Суть його полягає в тому, що НЕ зондується одночасно НШС сигналом і потужним монохроматичним гармонічним НВЧ коливанням. В результаті спостерігається ефект взаємної модуляції [13]. В такому випадку перевипромінення від НЕ сигнал має в своєму складі гармоніку випромінюваного НВЧ-сигналу, а також подвоєну і потрійну. Разом з тим спостерігається взаємна модуляція між гармонічним і НШС сигналами, причому спектр подібний АМ-сигналу, де в якості несучою виступає гармонійний сигнал. Отже, налаштувавши приймач на одну з бічних смуг модульованого сигналу, можна визначати наявність нелінійного елемента, а також з'являється можливість відстежити дальність до закладного пристрою по затримці відбитого імпульсу.

Недоліком НШС НРЛ є складності в реалізації НШС приймача і обчислювальні складності при обробці приймального сигналу. Крім того, даний підхід працює тільки при великій потужності гармонійного НВЧ-сигналу [13].

## **2.5 Аналіз проблеми чутливості у нелінійних локаторів**

В даний час величезну роль грає чутливість НРЛ. Виводи транзисторів діодів та інших нелінійних елементів, а також провідники друкованої плати

закладного пристрою виконують функцію антени для трансляції в ефір перевипроміненого сигналу. Відповідно, чим менше розмір нелінійного об'єкту (НО), тим складніше його виявити, так як розмір антени (виведення) зменшується і робоча частота такої антени підвищується. Стрімкий розвиток мікро- і наноелектроніки ставить завдання поліпшення чутливості НРЛ до закладних пристроїв, що мають малі габарити.

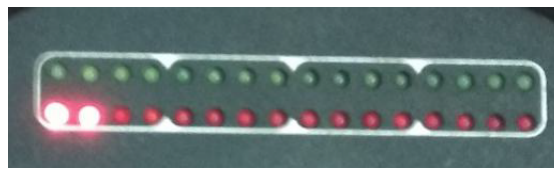
Провести експериментальне дослідження проблем детектування закладних пристроїв за допомогою нелінійного локатора для визначення особливостей їхнього виявлення шляхом використання різних напівпровідникових елементів з різною довжиною ніжок, яка дозволить перевірити існуючі та виявити можливі нові недоліки даного методу.

Як нелінійні об'єкти для дослідження було взято напівпровідниковий діод, транзистор КТ315, транзистор ВС817 та мікросхему LM4866. Для кожного напівпровідникового елемента було обрано довжини ніжок 4 см, 2 см та 0 см відповідно. Для виявлення напівпровідників використовувався нелінійний локатор NR-μ, що був розміщений на відстані 15 см від поверхні, на якій розміщувалися досліджувані об'єкти. Локатор NR-μ є індикаторним пристроєм, і виявлення напівпровідникових матеріалів супроводжується загоранням лінійки світлодіодів, що знаходяться на корпусі пристрою. Тому при дослідженні локалізації нелінійних елементів як вихідні дані використаємо зображення індикаторних світлодіодів. [14]

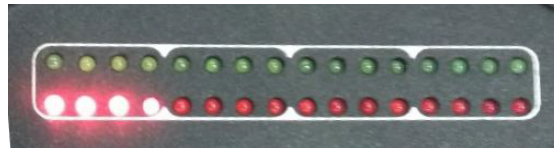
На рис. 2.12 зображено покази індикаторної світлодіодної лінійки нелінійного локатора NR-μ при детектуванні мікросхеми LM4866 при різних довжинах ніжок, ослаблення 0 дБ. Для аналізу можливості локалізації закладних пристроїв визначимо кількість світлодіодів, які світяться, тим самим ми з'ясуємо, як змінюється ступінь впливу напівпровідникових елементів на поле локатора, в якому вони знаходяться.

З рис.2.12а видно, що мікросхема без провідників має малий рівень сигналу, притому що в мікросхемах наявна велика кількість р-п-переходів. При збільшенні довжини ніжок цей рівень збільшується (рис. 2.12 б-в).





а)



б)



в)

а) без ніжок; б) довжина ніжок 2 см; в) довжина ніжок 4 см

Рисунок 2.12 - Покази індикаторної лінійки нелінійного локатора при детектуванні мікросхеми LM4866

На рис. 2.13 зображено покази індикаторів нелінійного локатора при детектуванні транзистора BC817. Як видно з рис. 2.13 *а-б*, рівень сигналу на індикаторній лінійці незмінний, а зі збільшенням довжини ніжок до 4 см рівень сигналу має значне посилення, оскільки для визначення максимального рівня було вибрано режим ослаблення сигналу на -10 дБ.

У випадку використання транзистора КТ315 для детектування нелінійним локатором (рис. 2.14) спостерігається така ж тенденція, як і у випадку з мікросхемою LM4866 і транзистором BC817 — зі збільшенням довжини ніжок рівень сигналу збільшується. Ослаблення сигналу 0 дБ.

При детектуванні напівпровідникового діоду (рис. 2.15) нелінійний локатор виявив його при довжині ніжок 4 см (ослаблення сигналу 0 дБ), у решті випадків прилад діод не виявив.



Рисунок 2.14 - Покази індикаторної лінійки нелінійного локатора при детектуванні транзистора КТ315

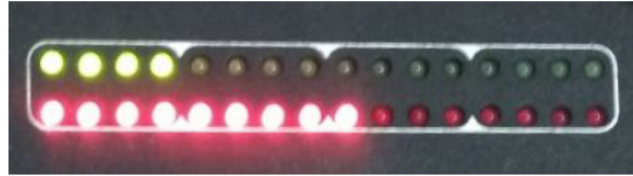


Рисунок 2.15 - Покази індикаторної лінійки нелінійного локатора при детектуванні напівпровідникового діода

На рис. 2.16 зображено покази індикаторної лінійки нелінійного локатора при детектуванні всіх об'єктів разом. Напівпровідникові елементи були встановлені без ніжок на макетній платі. Як видно з рис. 5, нелінійний локатор виявляє змонтовані в схему елементи, але, порівняно з рівнем детектування мікросхеми LM4866 і транзистора BC817 з довжинами ніжок 4 см, він нижчий



Рисунок 2.16 - Покази індикаторної лінійки нелінійного локатора при детектуванні всіх напівпровідникових елементів

Узагальнюючи отримані дані (рис. 2.17), видно практично пряму залежність між можливістю детектування напівпровідникових елементів і геометричними розмірами як самих елементів, так і їхніх провідників. Зі зменшенням довжини ніжок спостерігається зменшення інтенсивності результуючого сигналу нелінійного локатора і, як наслідок, зниження ймовірності виявлення такого елемента. Причому розміри самого елемента також сильно впливають на цей процес. Так, досліджуваний

напівпровідниковий діод має найменші розміри серед інших радіоелементів і, як результат, у деяких випадках пошуковий пристрій його зовсім не виявив.

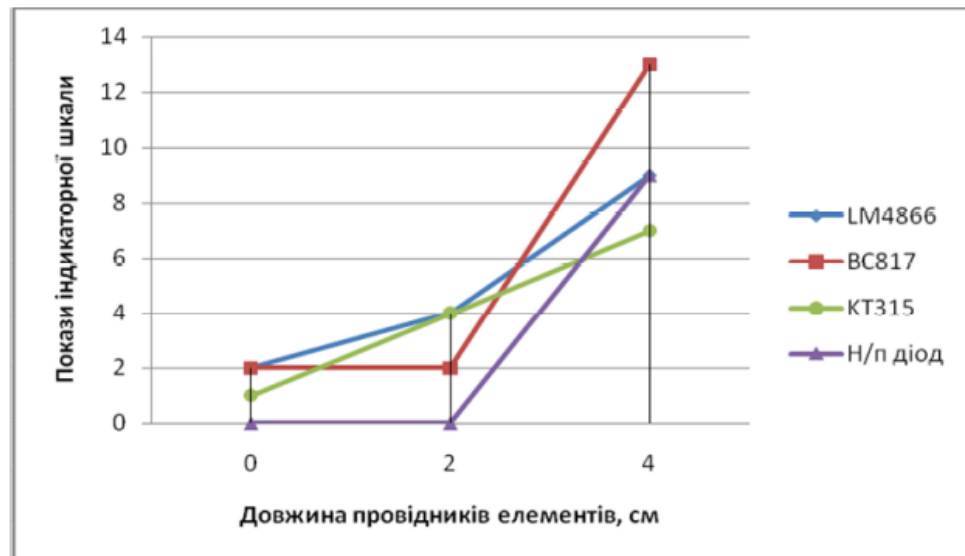


Рисунок 2.17 - Залежність показів індикаторної шкали локатора від довжини провідників досліджуваних елементів

Таким чином, можна стверджувати, що використання нелінійного локатора має суттєві обмеження, а саме: забезпечення можливості отримання достатнього результуючого сигналу від напівпровідникових елементів при мінімальних геометричних розмірах провідників. Поліпшити чутливість традиційного радіолокатора можна декількома способами:

- підвищити частоту зондування;
- застосувати складний сигнал як зонduючого;
- зменшити тривалість імпульсів зонduючого сигналу;
- підвищити потужність зонduючого сигналу.

Підвищення робочої частоти НРЛ зумовлює ускладнення приймального тракту радіолокатора і призводить до погіршення проникаючої здатності радіосигналу.

У традиційній радіолокації застосування складних сигналів дозволяє вирішити протиріччя між енергетичним потенціалом і чутливістю.

У нелінійної радіолокації застосування складних сигналів має дещо інший характер:

- застосування біфазних кодів при виділенні коливань 2-й гармоніки викликає ефект зменшення ширини спектра коливань, відбитих від закладних пристроїв, тобто до погіршення, а не поліпшення чутливості і точності вимірювання дальності;

- складні сигнали, наприклад, лінійно-частотно-модульовані колювання (ЛЧМ-сигнали) в кожен момент часу є вузькосмугові сигнали, які на кінцевому тимчасовому інтервалі в межах огинаючої ЛЧМ-сигналу потрапляють в смугу пропускання закладних пристроїв.

В результаті чого чутливість і точність вимірювання дальності визначається не параметрами зондуючого сигналу, а нелінійним об'єктом в закладному пристрої.

Таким чином, вищеописані методи в разі нелінійної радіолокації не призводять до підвищення чутливості.

## 3 ВИРІШЕННЯПРОБЛЕМИ ЧУТЛИВОСТІ І ПОТУЖНОСТІ НЕЛІНІЙНОГО РАДІОЛОКАТОРА

### 3.1 Спосіб підвищення чутливості НРЛ

Проаналізувавши всі методи виявлення нелінійних елементів зробили висновок, що представляє інтерес застосування надширокосмугових сигналів для зондування нелінійних об'єктів. Дуже мала тривалість таких сигналів дозволяє досягти високого рівня роздільності до одиниць міліметрів. Однак при стандартній обробці надширокосмугових сигналів радіолокатор буде визначати не тільки НО, але і будь-які інші об'єкти, від яких відбивається радіоімпульс, наприклад, таких як: дверна ручка, арматура в стіні, що обігріває радіатор і інше. Тому постає питання про метод обробки відбитих сигналів, за допомогою якого буде відбуватися ідентифікація тільки нелінійних об'єктів.

В основу такого методу пропонується покласти ефект взаємної модуляції [15]. Взаємна модуляція - явище, яке полягає в тому, що при прийомі радіохвиль передавальної радіостанції, що працює на частоті  $f_1$ , прослуховується передача іншої потужній радіостанції, розташованої на трасі і працюючої на несучій частоті  $f_2$ , відмінною від  $f_1$ .

Історія даного ефекту починається з 1933 р, коли в Ейндховені (Нідерланди) при прийомі швейцарської радіостанції прослухувалася робота іншої потужної станції «Люксембург». Явище взаємної модуляції має схожість з процесами, що проходять в змішувачі, коли на нього одночасно подаються два сигнали. У зв'язку з цим НО слід одночасно опромінювати потужним гармонійним сигналом і надширокосмуговими імпульсами.

Надширокосмуговий сигнал позначимо  $E_0(t)$ . Тоді перевипромінений сигнал від нелінійного об'єкта  $E_r(t)$  визначається виразом (3.1)

$$E_r(t) = E_0(t) + g[E_0(t)], \quad (3.1)$$

де  $g(x)$  - вид нелінійності.

При включенні потужного високочастотного гармонійного сигналу  $E_1(t)$ , що описується виразом (3.2)

$$E_1(t) = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (3.2)$$

перевідображений сигнал від НО буде визначатися виразом (3.3)

$$\begin{aligned} E_r(t) &= E_0(t) + E_1(t) + g[E_0(t) + E_1(t)] = \\ &= E_0(t) + A \sin(\omega t + \varphi) + g[E_0(t) + A \sin(\omega t + \varphi)]. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Для дослідження перевідображеного сигналу синтезована схема моделювання методу в програмному комплексі «Matlab», представлена на рисунку 3.1. При моделюванні розглядається випадок наявності одного закладного пристрою в середовищі, що не володіє екрануючими і поглинаючими радіохвилі властивостями.

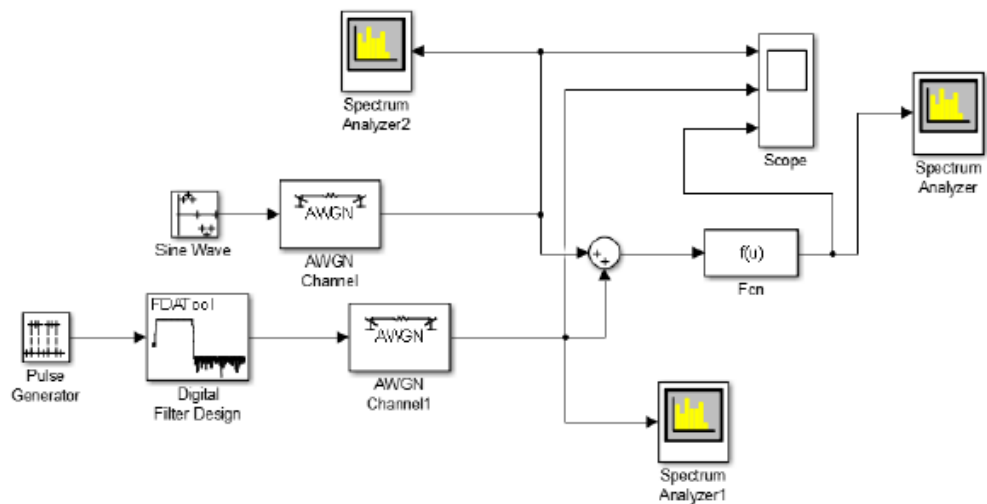


Рисунок 3.1 – Схема моделювання

Надширокосмугові імпульси формуються блоками «Pulse Generator» і «Digital Filter Design». Гармонійний сигнал генерується блоком «Sine Wave». За допомогою суматора ці два сигнали складаються і відправляються на НО «Fcp», вольт-амперна характеристика якого задана полиномом третього ступеня. Блоки «AWGN Channe» імітують канал зв'язку з шумами. Результати моделювання представлені у вигляді спектрограм в контрольних точках схеми: «Spectrum Analyser», «Spectrum Analyser1», «Spectrum Analyser2».

Спектрограма, знята в контрольній точці «Spectrum Analyzer 1» і представлена на рисунку 3.2, показує спектр надширокосмугового сигналу. Відношення сигнал / шум при моделюванні задано 20 дБм. Спектр надширокосмугового сигналу обмежується смуговим фільтром на рівні головної пелюстки, і відсікається постійна складова. Імпульс набуває вигляду другої похідної гаусового імпульсу. Ширина спектра в даному випадку становить 0,833 ГГц за рівнем -3 дБ щодо максимального рівня потужності, що дорівнює -10 дБм. [13]

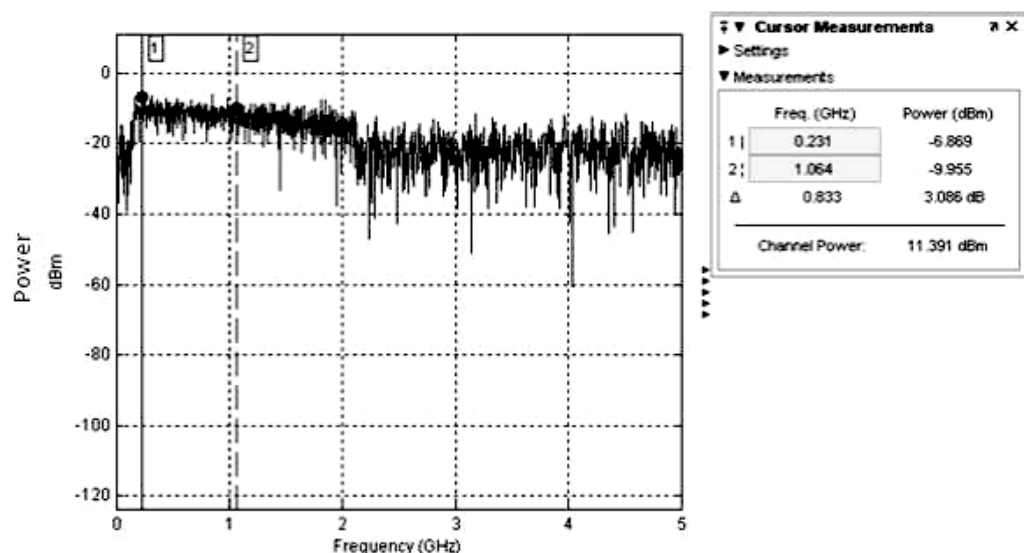


Рисунок 3.2 – Спектр надширокосмугового сигналу



Спектр гармонічного сигналу має одну спектральну складову потужністю 27 дБм на частоті 1,4 ГГц, що вище максимальної частоти спектру надширокосмугового сигналу на 600 МГц.

Спектрограма знімається в контрольній точці «Spectrum Analyzer 2» і представлена на рис.3.3.

Результат перетворення сигналів після впливу на НО знімається в контрольній точці «Spectrum Analyzer» і представлений на рис.3.4.

Як видно з спектрограми, перевипромінений сигнал має в своєму складі гармоніку випромінюваного сигналу частотою 1,4 ГГц на рівні 35 дБм, подвоєну рівнем 25 дБм і потрійну рівнем 15 дБм. Крім того, спостерігається взаємна модуляція між гармонійним і надширокосмуговим сигналами. Причому спектр подібний амплітудно-модульованому сигналу, де в якості несучої виступає гармонійний сигнал. Отже, налаштувавши приймач на одну з бічних смуг модульованого сигналу, можна визначати наявність нелінійного елемента. В результаті з'являється можливість відстежити дальність до закладного пристрою по затримці відбитого імпульсу.

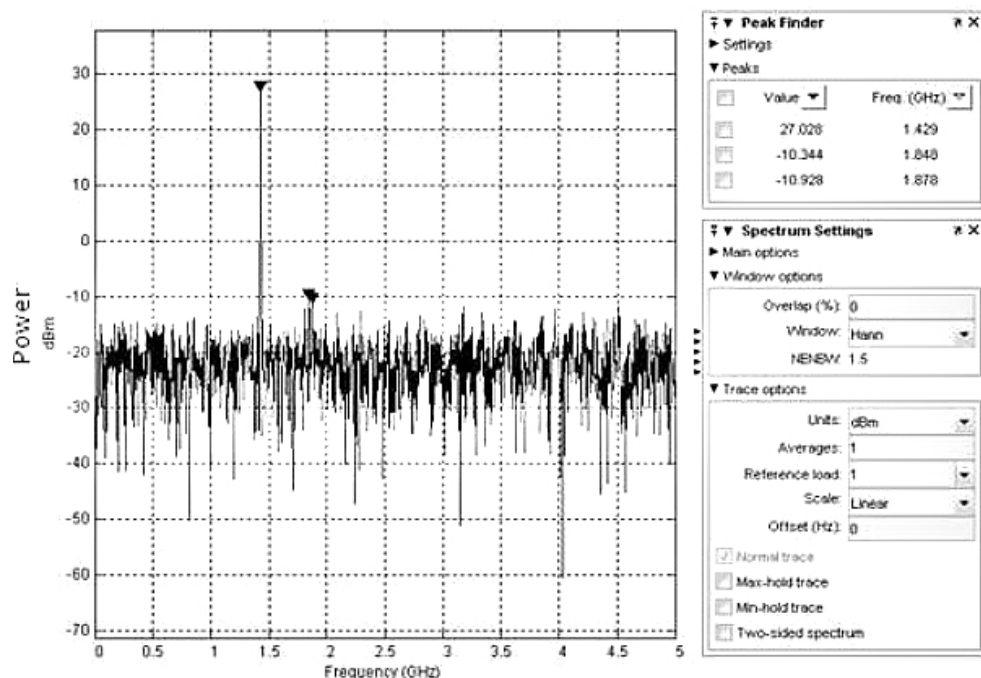


Рисунок 3.3 – Спектр монохроматичного сигналу

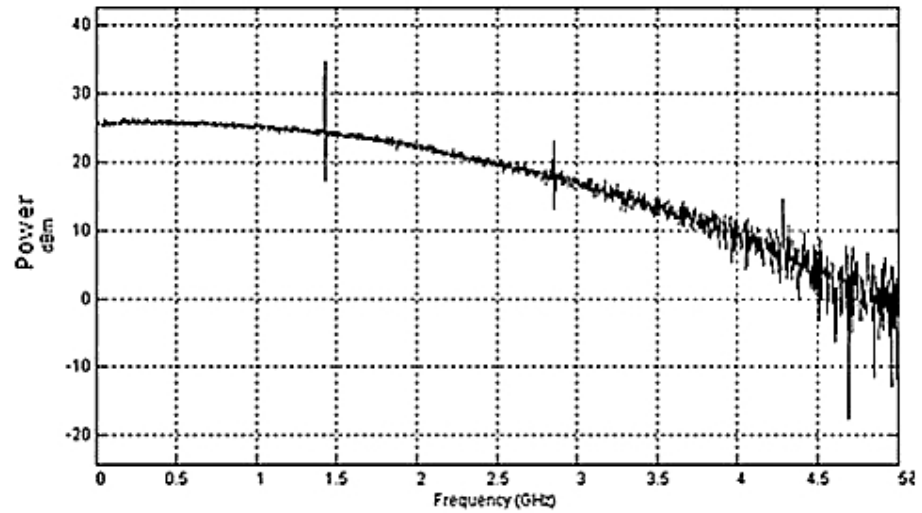


Рисунок 3.4 – Спектр сигналу після нелінійного перетворення

Для порівняння наведені спектрограми при впливі на квадратичну нелінійність (рис. 3.5) і на об'єкт, який не містить нелінійності (рис. 3.6). При квадратичній нелінійності також присутня модуляція і подвоєна гармоніка випроміненого гармонійного сигналу, але відсутня потроєна гармоніка. При відсутності нелінійності кратних гармонік модуляції не спостерігається.

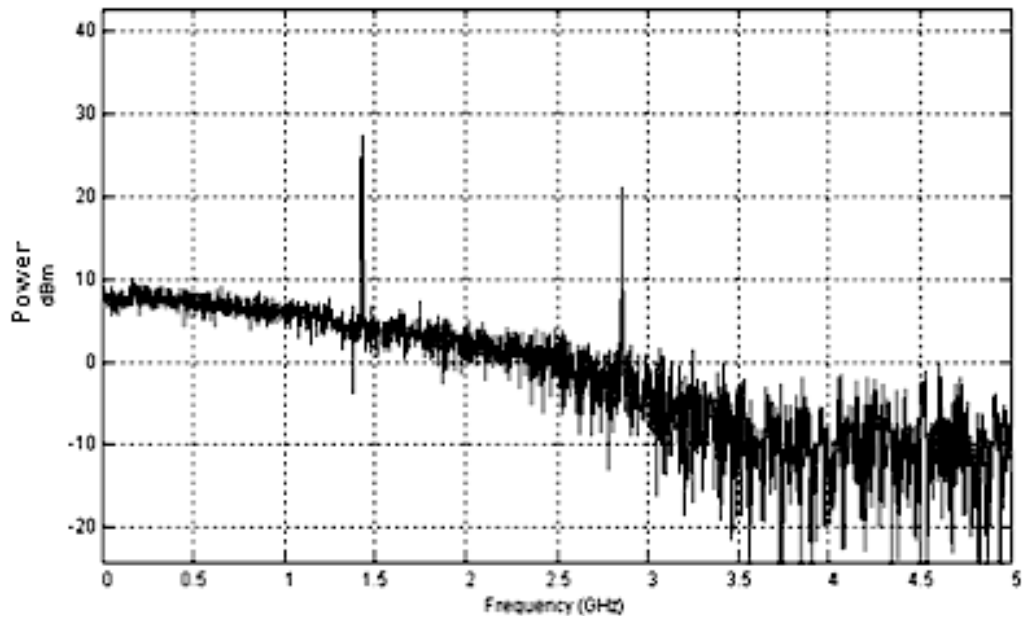


Рисунок 3.5 – Результати перетворення при квадратичній нелінійності

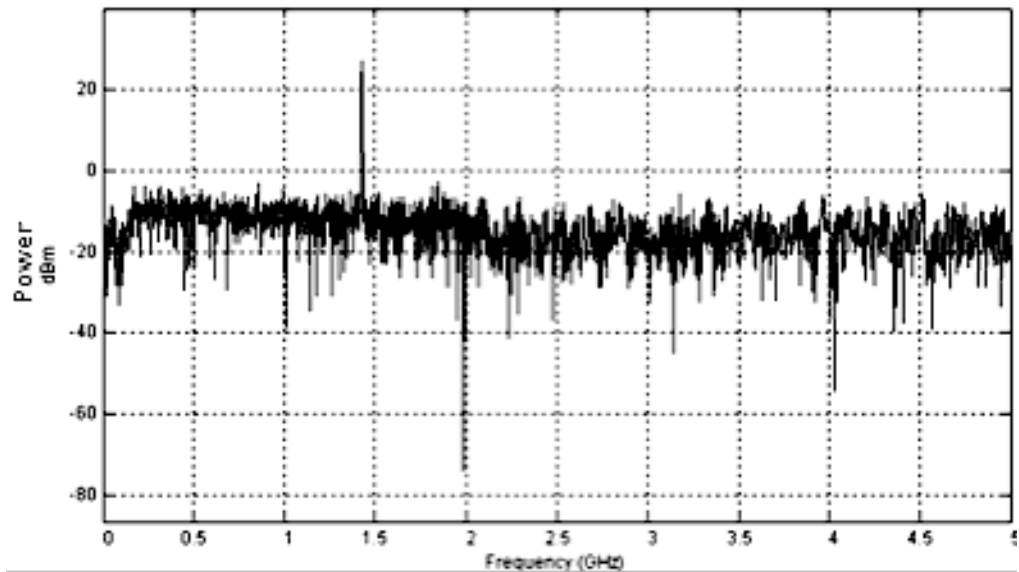


Рисунок 3.6 – Результати перетворення при відсутності нелінійності

Отже, виходячи з отриманих результатів видно, що при опроміненні НО одночасно гармонійним сигналом і надширокосмуговими імпульсами спостерігається ефект взаємної модуляції. За допомогою приймача НРЛ, налаштованого на бічну смугу модульованого сигналу, отриманого в результаті нелінійного перетворення, відбувається виявлення НО. Крім того, використання надширокосмугового сигналу дозволяє поліпшити чутливість НРЛ до закладних пристроїв, що володіють малими габаритами (до 5 см).

Таким чином, програмна модель підтверджує можливість застосування в нелінійній радіолокації розглянутого способу виявлення закладних пристроїв, що володіють малими габаритами і мають в своєму складі НО. Створена модель є основою для проведення практичних випробувань з метою отримання більш детальних результатів досліджень [13].

### **3.2. Моделювання і обробка відгуку складного зондуючого сигналу від нелінійних з апроксимацією степеневим рядом**

Проведемо порівняльний аналіз складних зондуючих сигналів, представлених у вигляді адитивної суміші НШС-сигналу і негармонійного НВЧ-сигналу, шляхом моделювання відгуку від елементів з нелінійною вольтамперною характеристикою для підвищення чутливості нелінійного радіолокатора НРЛ. Для досягнення поставленої мети вирішені наступні завдання:

- створення імітаційної моделі взаємодії зондуючого сигналу з НЕ;
- проведення спектрального аналізу перевипроміненого сигналів від НЕ;
- вибору та обґрунтування зондуючого сигналу, при якому перевипромінений сигнал має найбільше значення потужності.

#### **3.2.1 Синтез програмної моделі**

Моделювання проведено для двох випадків нелінійності, апроксимованої степеневим рядом:

- другого порядку, яка імітує напівпровідник радіоелектронного елемента і для нелінійності;
- третього порядку, яка імітує напівпровідник, отриманий в результаті з'єднань металів або їх оксидів.

Для аналізу перевипроміненого сигналів від НЕ при зондуванні НШС-сигналом спільно з НВЧ використовується програмна модель (ПМ), реалізована в середовищі Matlab. Програмна модель виконує наступні функції:

- генерування зондуючого сигналу з заданими параметрами;
- імітація наявності шуму в радіоканалі;
- моделювання нелінійності з апроксимацією степеневим поруч;

- розрахунок перевипроміненого сигналу;
- спектральне представлення зондуючого і перевипроміненого сигналів.

При моделюванні розглянуті наступні види зондуючих сигналів:

- НШС-сигнал і потужний гармонійний НВЧ-сигнал;
- НШС-сигнал і НВЧ-сигнал, частотно модульований синусоїдальним сигналом;
- НШС-сигнал і НВЧ-сигнал, частотно модульований пилкоподібним;
- НШС-сигнал і НВЧ-сигнал, частотно модульований послідовністю коду Баркера.

Структурна схема, яка пояснює принцип роботи ПМ, представлена на рисунку 3.8

Зондувальний сигнал формується за допомогою Matlab моделі і експортується в модель Simulink, де моделюється взаємодія з нелінійністю. Потім результат моделювання експортується в Matlab модель для спектрального аналізу. Експорт та імпорт даних здійснюється за допомогою наступного програмного коду (рис. 3.7)[16]:

```

wave.time = t; % експорт часу в Simulink
wave.signals.values = zond'; %експорт зондуючого сигналу в
Simulink
wave.signals.dimensions =1;
%% виклик симулинк моделі
model = 'intermod_sim';
load_system(model)
sim(model)
zondh=simout2.signals.values; % експорт зондуючого сигналу
otr=simout.signals.values % експорт перевипроміненого
сигналу

```

Рисунок 3.7- Програмний код

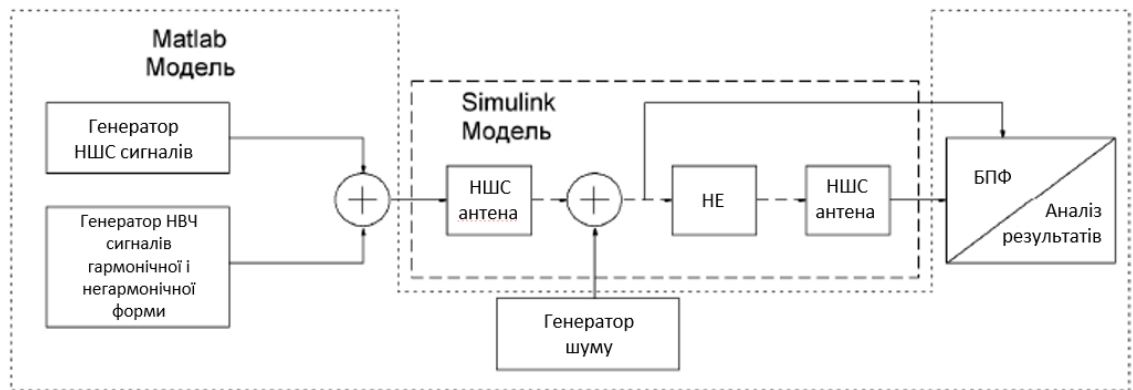


Рисунок 3.8 – Структурна схема ПМ

На рисунку 3.9 представлена структура моделі Simulink.

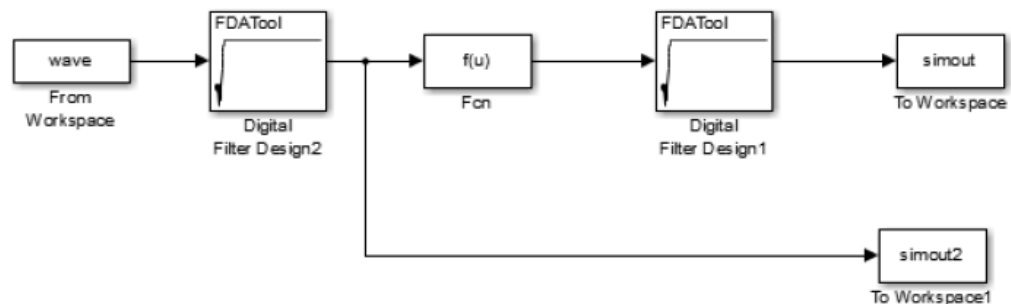


Рисунок 3.9 – Модель взаємодії нелінійного елемента з зондуючим сигналом

Функціональне призначення блоків моделі Simulink:

- блок «From workspace» імпортує з workspace відліки зондуючого сигналу;
- блоки «Digital Filter Design2» і «Digital Filter Design1» моделюють обмеження нижньої частоти передавальної і прийнятої антен відповідно і являють собою цифрові НВЧ-фільтри;
- блок «Fcn» моделює нелінійність, апроксимовану степеневим рядом другого або третього порядку;
- блок «To Workspace» експортує відліки в workspace перевипроміненого від HE сигналу і прийнятого на приймальну антену НРЛ;

– блок «To Workspace1» експортує відліки в workspace зондуємого сигналу з урахуванням обмеження його спектра на передавальній антені.

Вважаємо, що антени, що використовуються на прийом і передачу НШС-сигналів, однакові, нижня частота смуги пропускання яких становить 450 МГц.

НШС-сигнал має вигляд послідовності імпульсів, форму яких описує друга похідна функції Гауса. Даний вид сигналу широко поширений в НШС-радіолокації.

Спектр НШС-сигналу знаходиться в діапазоні від 0,5 до 1,5 ГГц, а рівень середньої потужності становить мінус 60 дБм.

Послідовність таких імпульсів частотою 100 МГц і максимальною потужністю - мінус 45 дБм в Matlab моделі описана за допомогою коду рис. 3.10

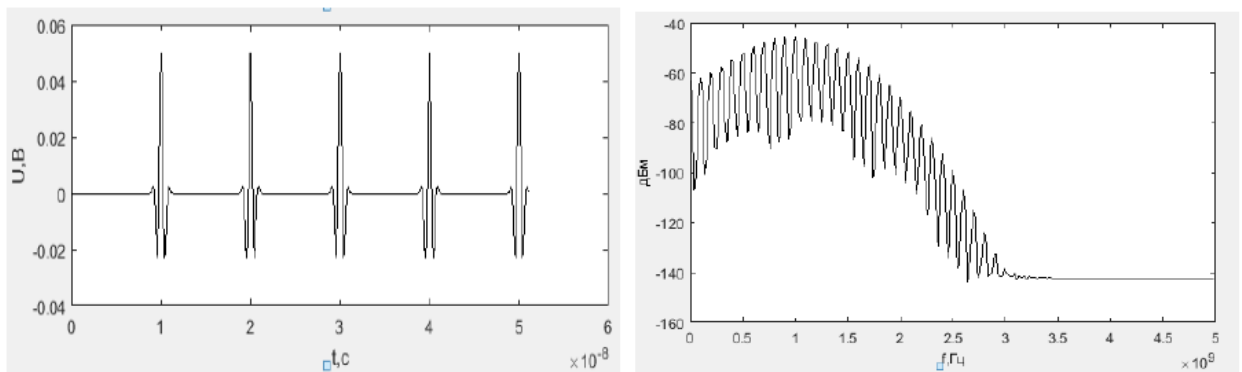
```

N=512; % кількість модельованих точок
Fs=10e+9; % частота дискретизації
fp=1/(1e-9); % ширина спектральної щільності НШС сигналу
t=0:1/Fs:(N-1)/Fs; % формування тимчасових відліків
МОДЕЛЮВАННЯ
yi=0;
for i=1:512
y(i,:) = gauspuls(t-(i*100)/Fs,fp,1); % формування
ПОСЛІДОВНОСТІ
yi=yi+y(i,1:512); % другий похідною імпульсів Гауса
end
figure; % вивід на графік НШС сигналу в частотній області
plot(f,fftshift(10*log10(1000/50*abs(fft(yi.*w')/
length(yi)).^2)));xlabel('f,Hz');
ylabel('Power,dBm')
figure; % вивід на графік в часовій області НШС сигналу
plot(t,yi);xlabel('t,c'); ylabel('U,B')

```

Рисунок 3.10 – Програмний код

Модельований НШС сигнал у часовій області представлений на рисунку 3.11 а і в частотній - на рисунку 3.11 б.



а

б

а - часова область; б- частотна область

Рисунок 3.11 – Модельований НШС-сигнал у різних областях

### 3.2.2 Спектральний аналіз та результати моделювання

Експеримент 1. Зондувальний сигнал являє собою адитивну суміш НШС і потужного гармонійного НВЧ-сигналів. Потужність гармонійного сигналу задана на рівні мінус 4,4 дБм, частота - 900 МГц, при цьому середній рівень шуму становить мінус 50 дБм. Лістинг коду моделі Matlab для моделювання гармонійного сигналу виглядає наступним чином (рис. 3.12) [16]:

```
harmonic=0.5.*sin(2*pi*fn*t); % гармонічний сигнал
Noise=0.02*randn(1,length(t)); % шум
figure; % гармонічний сигнал у часовій області
```

Рисунок 3.12 – Програмний код

Розглянемо результати моделювання. Спектр зонduючого сигналу показаний на рисунку 3.13



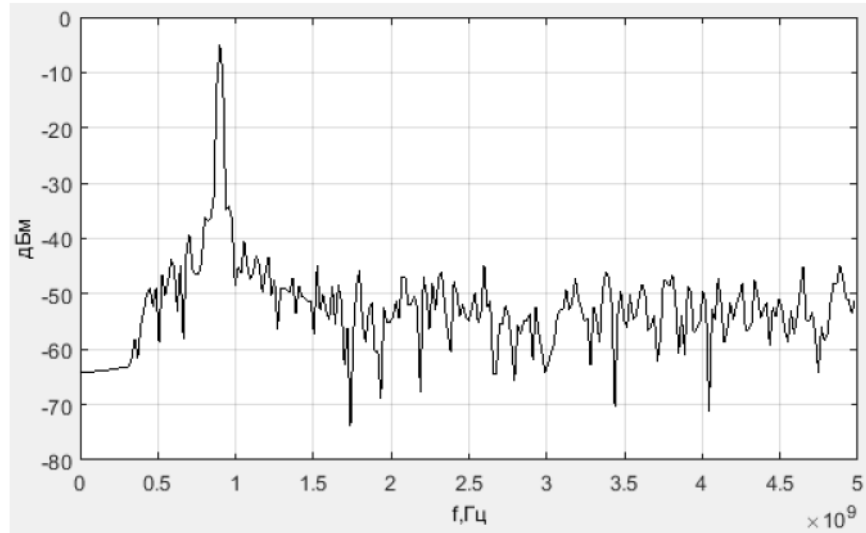
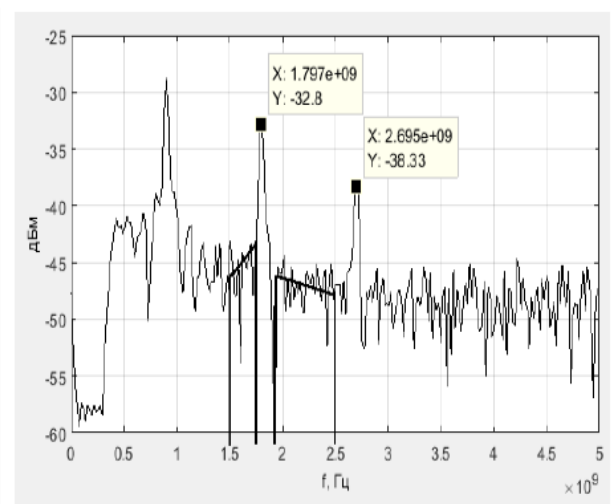
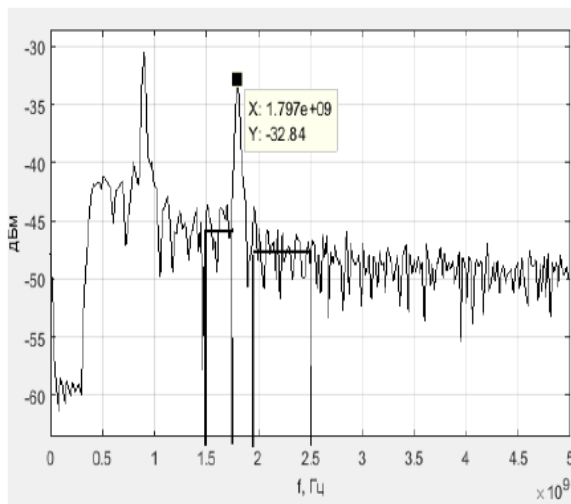


Рисунок 3.13 – Спектр зонduючого сигналу

В такому випадку спектр перевипромінювального сигналу від нелінійності, апроксимованою степенем рядом другого порядку, показаний на рисунку 3.14 а, а від нелінійності апроксимованої статечним рядом третього порядку - на рисунку 3.14б.



а - другого порядку;

б- третього порядку

Рисунок 3.14 – Спектр перевипроміненого сигналу від нелінійності апроксимованою степенем рядом різних порядків

В спектрі перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованої степенем рядом другого порядку, з'явилася подвоєна гармоніка НВЧ-сигналу потужністю мінус 33 дБм, в діапазоні від 1,5 до 1,7 ГГц видно підйом середньої потужності до мінус 44 дБм, а в діапазоні від 1,9 до 2,5 ГГц - до мінус 47 дБм. Рівень шуму становить мінус 50 дБм.

В спектрі перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованої степенем рядом третього порядку, з'явилися подвоєна і потроєна гармоніки НВЧ-сигналу потужністю мінус 33 дБм і мінус 38 дБм відповідно. У діапазоні від 1,5 до 1,7 ГГц значення середньої потужності збільшилася до мінус 44 дБм, в діапазоні від 1,9 до 2,3 ГГц - до мінус 45 дБм. Необхідно відзначити, що і рівень шуму зріс до мінус 46 дБм.

Експеримент 2. Зондувальний сигнал являє собою адитивну суміш НШС і частотно модульованого НВЧ сигналу. Індекс модуляції дорівнює 10, модулюючий сигнал має вигляд синусоїдального сигналу частотою 3кГц, Формування даного зонduючого сигналу виконується за допомогою наступного програмного коду на рис. 3.15 [16]:

```
tone=5.*sin(2*pi*3e3*t); %генерація тону
mod=pmmod(tone, fn, Fs, 10); % модуляція тоном
zondfm=mod+yi+Noise; %зонduючий сигнал
```

Рисунок 3.15 – Програмний код

Розглянемо результати моделювання. Спектр зонduючого сигналу показаний на рисунку 3.16.

Спектр перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованої степенем рядом другого порядку, показаний на рисунку 3.17а і від нелінійності, апроксимованої степенем рядом третього порядку, - на рисунку 3.17б.

В спектрі перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованій степенем ряду другого порядку, присутня друга гармоніка НВЧ-сигналу потужністю мінус 12 дБм, а також спостерігається підвищення середньої потужності в діапазонах від 1,5 до 1,7 ГГц до мінус 45 дБм і від 1,9 до 2,5 ГГц до мінус 43 дБм, викликане нелінійним перетворенням СШП-сигналу.

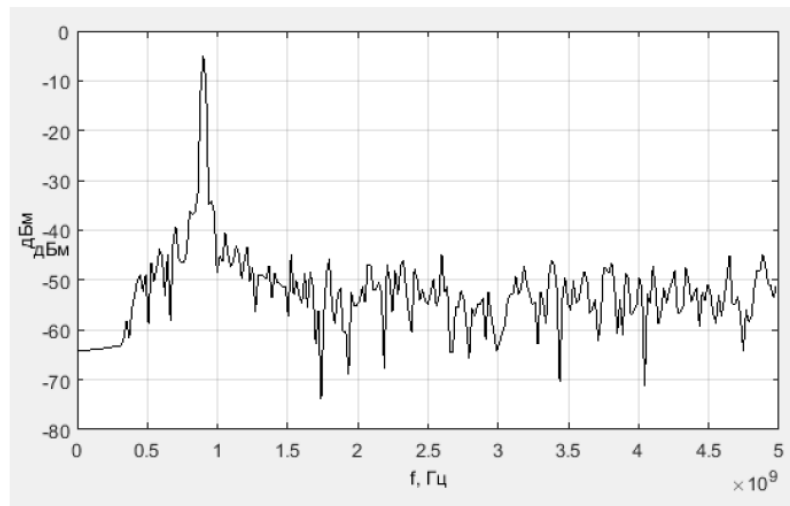
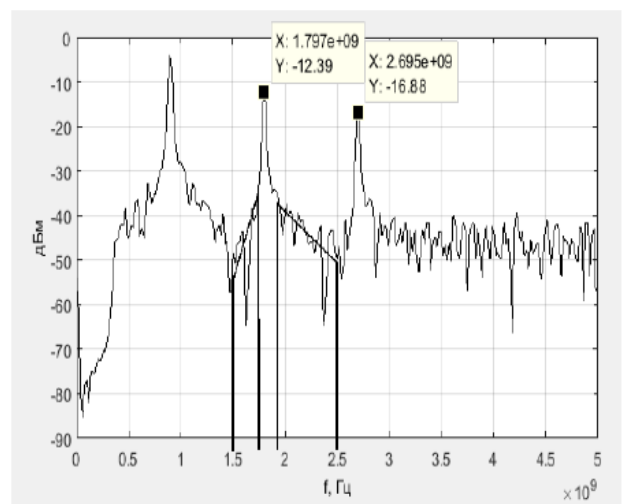
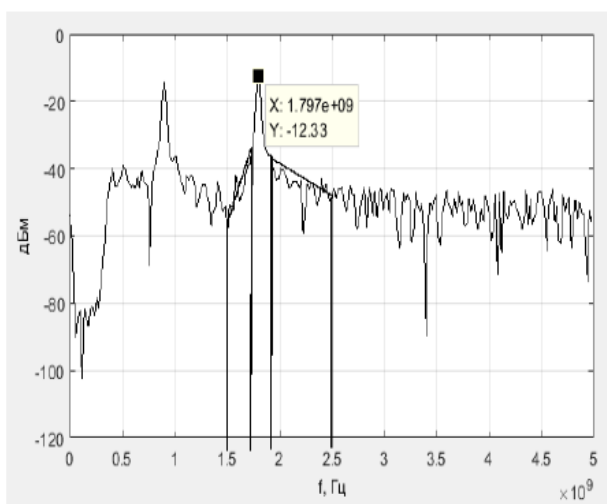


Рисунок 3.16 – Спектр зонduючого сигналу



а - другого порядку;

б- третього порядку

Рисунок 3.17 – Спектр перевипроміненого сигналу від нелінійності апроксимованою степенем рядом різних порядків

В спектрі перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованої степенем рядом третього порядку, рівень шуму збільшився до мінус 44 дБм. Присутні друга і третя гармоніки НВЧ-сигналу потужністю мінус 12 дБм і мінус 18 дБм відповідно. Спостерігається підвищення значення середньої потужності в діапазонах від 1,5 до 1,7 ГГц до мінус 43 дБм, в діапазоні від 1,9 до 2,5 ГГц - до мінус 44 дБм.

Рівень потужності другої гармоніки на 21 дБм вище рівня потужності другої гармоніки при проведенні експерименту 1. Аналогічне перевищення рівня спостерігається і для третьої гармоніки.

Значення середньої потужності на частотах в діапазоні від 1,9 до 2,5 ГГц в експерименті 2 вище на 2 дБм ніж в експерименті 1.

Експеримент 3. В якості зонduючого сигналу використовується адитивна суміш НШС і частотно модульованого НВЧ-сигналу сигналом пілоподібною форми частотою 30 кГц. Індекс модуляції дорівнює 10. Нижче (рис 3.18) представлений програмний код моделювання даного сигналу[16]:

```
chirp      =      5.*sawtooth(2*pi*30e3*t);      %      формування
пилоподібного сигналу
mod=pmmod(chirp, fn,Fs,10); % ЧМ
zondlchm=mod+yi+Noise; % зонduючий сигнал
```

Рисунок 3.18 – Програмний код

Спектр зонduючого сигналу показаний на рисунку 3.19.

Спектр перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованої степенем рядом другого порядку, показаний на рисунку 3.20a і від нелінійності, апроксимованої степенем рядом третього порядку, - на рисунку 3.20б.

В спектрі перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованій степенем ряду другого порядку, присутній друга гармоніка НВЧ сигналу потужністю мінус 12дБм. У діапазоні від 1,5 до 1,7 ГГц підвищення значення середньої потужності не спостерігається, а в діапазоні від 1,9 до 2,5 ГГц середня потужність збільшилася до мінус 42 дБм.

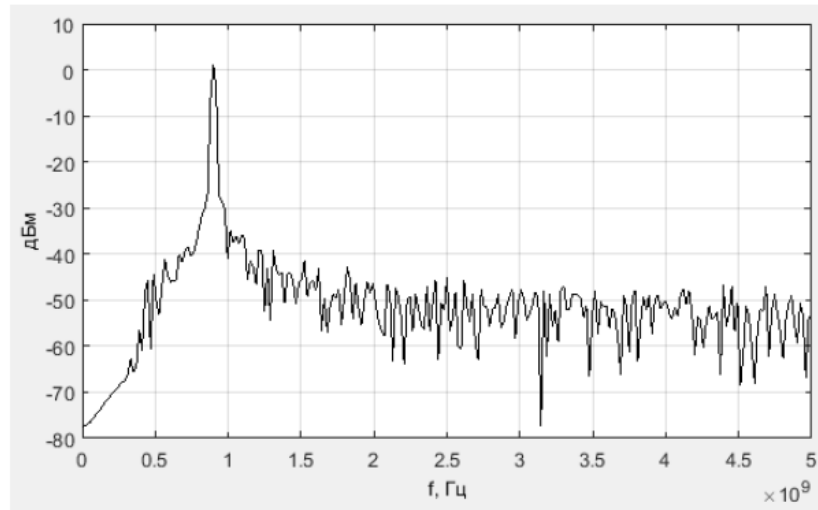
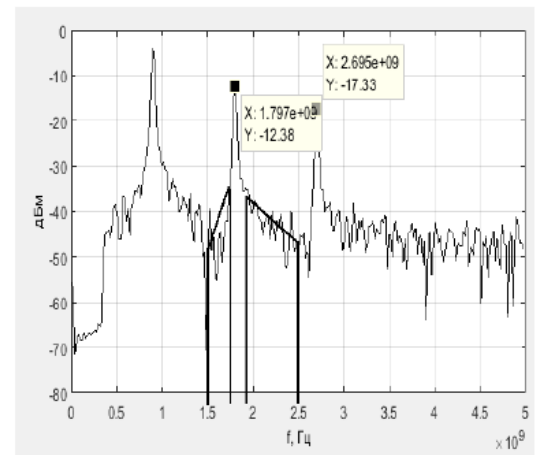
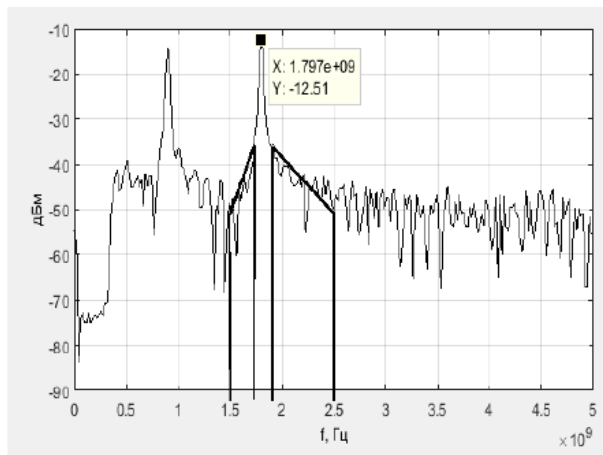


Рисунок 3.19 – Спектр зондуючого сигналу



а - другого порядку;      б- третього порядку

Рисунок 3.20 – Спектр перевипроміненого сигналу від нелінійності апроксимованою степенем рядом різних порядків

В спектрі перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованої степенем рядом третього порядку присутні друга і третя гармоніки НВЧ-сигналу потужністю мінус 12 дБм і мінус 18 дБм відповідно. Також спостерігається збільшення значення середньої потужності в діапазоні від 1,9 до 2,5 ГГц до мінус 41 дБм, а в діапазоні від 1,5 до 1,7 ГГц значення середньої потужності не збільшилася.

Експеримент 4. Зондувальний сигнал являє собою адитивну суміш НШС і частотно модульованого НВЧ-сигналу кодом Баркера завдовжки 13 символів. Індекс модуляції дорівнює 10. [16]

Нижче (рис. 3.21) представлений програмний код моделювання.

```

hVCode = comm.BarkerCode('SamplesPerFrame',13, 'Length',
13); %формування
seq_barker=step(hVCode);%запис коду в змінну
seq_barker_t=[]; %пустий масив
for j=1:13
for i=1:40
seq_barker_t=[seq_barker_t,seq_barker(j)]; %формування з
тайм семплами
end
end
%figure; plot(seq_barker_t);
mod=pmmmod(0.01.*seq_barker_t(1:512), fn,Fs,10); %модуляція
zondbark=mod+yi+Noise; %зондуючий сигнал

```

Рисунок 3.21 – Програмний код

Спектр зондуемого сигналу показаний на рисунку 3.22.

Спектр перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованої степенем рядом другого порядку, показаний на рисунку 3.23,а і від нелінійності, апроксимованої степенем рядом третього порядку, - на рисунку 3.23б.

В спектрі перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованої степенем рядом другого порядку, потужність другої гармоніки складає мінус 12 дБм. Рівень середньої потужності збільшився до

мінус 44 дБм і до мінус 43 дБм в діапазонах від 1,5 до 1,7 ГГц і від 1,9 до 2,5 ГГц відповідно.

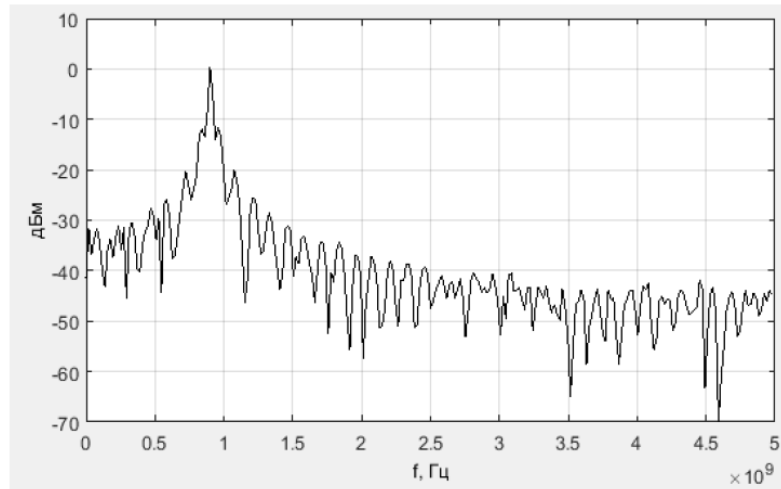
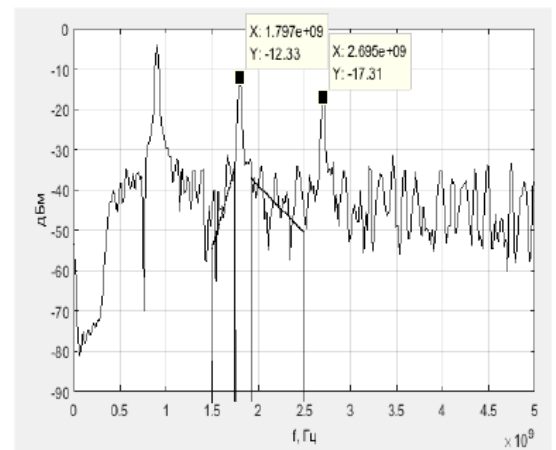
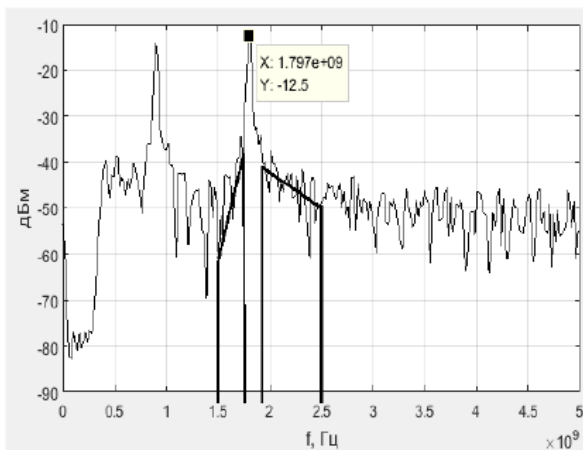


Рисунок 3.22 – Спектр зондуючого сигналу



а - квадратична нелінійність;

б – кубічна нелінійність

Рисунок 3.23– Спектр перевипроміненого сигналу

В спектрі перевипроміненого сигналу від нелінійності, апроксимованій степенем ряду третього порядку, друга гармоніка НВЧ-сигналу має рівень потужності мінус 12 дБм, третя - мінус 20 дБм.

Спостерігається підвищення значення середньої потужності в діапазонах від 1,5 до 1,7 ГГц і від 1,9 до 2,5 ГГц до мінус 42дБм. Рівень шуму становить мінус 42 дБм.

Отже, порівняльний аналіз показав:

1. Використання адитивної суміші НШС- і НВЧ-сигналів як зондуючого для НРЛ має місце класичний нелінійних ефект виникнення другої гармоніки НВЧ-сигналу для напівпровідникових НЕ, які апроксимуються степенем рядом другого порядку. Для НЕ, що представляють тип металевих контактних з'єднань, перевипромінений від них сигнал містить третю гармоніку. Крім того, спостерігається ефект взаємної модуляції НШС- і НВЧ-сигналів.

2. Застосування частотної модуляції НВЧ складової адитивної суміші сигналу призводить до збільшення потужності перевипроміненого сигналу для другої і третьої гармонік приблизно на 21 дБм, для НШС частини - на 1 - 4 дБм по відношенню до експерименту без модуляції НВЧ-сигналу.

3. Рівень потужності перевипроміненого сигналу від НЕ, апроксимованого степенем рядом другого порядку, має найбільше значення при частотній модуляції НВЧ-сигналу кодом Баркера (таблиця 1). Для НЕ, апроксимованого степенем рядом третього порядку, найбільший рівень потужності досягає при модуляції НВЧ-сигналу пилкоподібним сигналом. При цьому зазначено, що частотна модуляції НВЧ-сигналу призводить до підвищення рівня шуму на 10 дБм (таблиця 2). Для обох типів НЕ найменший рівень потужності перевипроміненого сигналу спостерігається при використанні гармонійного НВЧ-сигналу.

4. Отримані результати моделювання показали, що як зондуючого сигналу для НРЛ краще використовувати адитивну суміш НШС-сигналу і частотно модульованого НВЧ-сигналу, ніж суму НШС і гармонійного НВЧ-сигналів.



Таблиця 3.1 – Результати моделювання для нелінійностей, апроксимованих поліномом другого ступеня

Вид зонduючого сигналу	Потужність перевипроміненого сигналу, дБм		
	другої гармоніки	середня на частотах 1,5 - 1,7 ГГц	середня на частотах 1,9 - 2,5 ГГц
НШС + гармонійний НВЧ	-33	-44	-47
НШС + частотно модульований сигнал НВЧ	-12	-45	-43
НШС + частотно модульований пілкоподібним сигнал НВЧ	-12	-50	-42
НШС + частотно модульований кодом Баркера НВЧ	-12	-44	-43

Таблиця 3.2 – Результати моделювання для нелінійностей, апроксимованих поліномом третього ступеня

Вид зонduючого сигналу	Потужність перевипроміненого сигналу, дБм				Рівень шуму, дБм
	другої гармоніки	середня на частотах 1,5 - 1,7 ГГц	середня на частотах 1,9 - 2,5 ГГц	третьої гармоніки	
НШС + гармонійний НВЧ	-33	-44	-45	-38	-50
НШС + частотно модульований сигнал НВЧ	-12	-43	-44	-18	-44

НШС + частотно модульований пилкоподібним сигналом НВЧ	-12	-52	-41	-18	-42
НШС + частотно модульований кодом Баркера НВЧ	-12	-42	-42	-20	-42

## **4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ**

### **4.1 Планування розробки науково дослідницької роботи (НДР)**

У дипломній роботі виконується аналіз сучасних локаторів нелінійностей.

Інформаційна безпека давно стала самостійним напрямом досліджень і розробок, в рамках якого йде безперервна війна між тими, хто прагне, наприклад, вкрасти секретні відомості і тими, хто ставить собі за мету забезпечення цілісності конфіденційних даних.

Основна умова раціонального планування НДР - скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах трудових, матеріальних і грошових ресурсів. Для цього необхідно вирішити такі завдання з планування НДР: визначення трудомісткості і тривалості; складання мережного графіка виконання; визначення витрат на проведення.

### **4.2 Визначення трудомісткості і тривалості НДР**

Весь комплекс науково-дослідних робіт можна підрозділити на типові етапи. По кожному етапу указуються виконавці і трудомісткість чи тривалість виконання робіт. Трудомісткість - це затрати робочого часу на виробництво одиниці продукції.

Трудомісткість НДР розраховується в людино-днях витрат робочого часу основних виконавців і залежить від складності розробки й ступеня її новизни.

У розробці бере участь інженер, тривалість розробки 2 місяця з 3 вересня 2018 року по 30 жовтня 2018 року. Місячний оклад інженера 10000 гривень (за 20 робочих днів). Завдання та обов'язки по етапах розробки наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика робіт по етапам розробки

Назва роботи	Трудомісткість, чол/дн.	Виконавці		Тривалість, днів
		Спеціальність	К-сть, чол.	
1. Огляд принципів роботи нелінійних локаторів	5	інженер	1	4
2. Аналіз способів селекції сигналу	10	інженер	1	7
3. Аналіз основних характеристик	5	інженер	1	8
4. Дослідження сучасних НЛ	5	інженер	1	5
5. Порівняльний аналіз сучасних НЛ (таблиця)	2	інженер	1	2
6. Аналіз методів виявлення нелінійних елементів	5	інженер	1	7
7. Аналіз способу підвищення чутливості НЛ	3	інженер	1	3
8. Синтезування схеми в програмному комплексі «Matlab»	5	інженер	1	5
9. Складання висновків	2	інженер	1	2
Разом	42	-		42



7. Аналіз способу підвищення чутливості НЛ									
8. Синтезування схеми в програмі «Matlab»									
9. Складання висновків									



- інженер

### 4.3 Визначення витрат на НДР

Для визначення витрат на НДР складається калькуляція кошторисної вартості робіт, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- єдиний соціальний внесок;
- витрати на спеціальне обладнання;
- матеріали і комплектуючі вироби;
- накладні витрати;
- податки.[17]

#### 4.3.1 Розрахунок основної заробітної плати

Заробітна плата - винагорода, обчислена, зазвичай, у грошовому виразі, яку за трудовим договором власник або уповноважений ним орган виплачує працівникові за виконану ним роботу

У цю статтю включається заробітна плата всіх категорій працівників, що безпосередньо зайняті в процесі проведення всіх етапів НДР. Сума

заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу.

Таблиця 4.3 - Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Чисельність, чол	Кількість робочих днів	Місячний оклад, грн.	Сума зарплати, грн.
програміст	1	20	10000	10000

Таблиця 4.4 - Розрахунок основної заробітної плати за фактичне відпрацювання

Посада виконавця	Чисельність, чол	Кількість відпрацьованих місяців	Кількість фактично відпрацьованих днів	Місячний оклад, грн.	Сума фактичної зарплати, грн.
програміст	1	2	42	10000	21000

#### 4.3.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок на загальнообов'язкове державне соціальне страхування— консолідований страховий внесок в Україні, збір якого здійснюється в системі загальнообов'язкового державного страхування в обов'язковому порядку та на регулярній основі.

Ці відрахування визначаються у відсотковому відношенні до суми основної зарплати відповідно до встановленого нормативу 22% і становлять[17]:

$$ЗП_{осн} \cdot 0,22 = 21000 \cdot 0,22 = 4620 \text{ грн,}$$

де  $ЗП_{осн}$  – сума фактичної заробітної плати, грн.

### 4.3.3 Визначення витрат на матеріали і комплектуючі

У цю статтю включається вартість основних і допоміжних матеріалів (папір, носії інформації, картридж і т.п.), покупних напівфабрикатів і комплектуючих виробів, необхідних для дослідження. Розрахунок наводиться в табл.4.5.

Транспортно-заготівельні витрати приймаються рівними 5% від вартості матеріалів.

Таблиця 4. 4 - Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, од.вим.	Кількість	Ціна ,грн.	Загальна вартість, грн.
Папір для принтера, уп.	1	45	45
Flash-диск на 4Gb, шт.	1	120	120
Mathlab, шт.	1	783	783
Картридж, шт.	1	300	300
Разом			1248
Транспортно-заготівельні витрати 5%			62,4
Всього			1310,4

### 4.3.4 Затрати на спеціальне обладнання

У ній статті враховуються витрати на оплату машинного часу ПК для написання і налагодження програмних засобів. Для чого необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування» виходячи з якої визначиться вартість одного машино-години роботи персонального комп'ютера (ПК), після множення якої на машинний час, що пішов на

написання і налагодження програми, отримуємо витрати на оплату машинного часу.

#### 4.3.4.1 Амортизація

Амортизація - процес поступового перенесення вартості основних засобів на продукт, що виготовляється з їх допомогою. Для заміщення зношеної частини основних засобів виробництва підприємства роблять амортизаційні відрахування, тобто відрахування певних грошових сум відповідно до розмірів фізичного і морального зносу засобів виробництва. Амортизаційні відрахування використовуються для повного відтворення зношених основних фондів (на реновацію), а також для їх часткового відшкодування (на капітальний ремонт і модернізацію).

Амортизаційні відрахування визначають за формулою 4.1 :

$$A_{\text{комп}} = C_b \cdot \frac{H_a}{100}, \quad (4.1)$$

де  $C_b$  - балансова вартість обчислювальної техніки, грн;

$H_a$  - норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення обчислювальної техніки, 25%. [17]

Підставивши в формулу значення балансової вартості використовуваного комп'ютера ПК ROMA BETA 522.0052 / CPU INTEL Pentium Dual Core E5700 / RAM DDR3 2 Gb / HDD 500 Gb, монітор LG Flatron LCD W2246S, яка визначається як вартість комп'ютера 5742,25 грн., монітора 2358,5грн. і становить 8100,75грн. і норми амортизаційних відрахувань 25%, отримуємо:

$$A_{\text{комп}} = 8100,75 \cdot \frac{25}{100} = 2025,18 \text{ грн.}$$



Розрахуємо амортизаційні витрати по основному засобу за 2 місяці:

$$A = \frac{2025,18}{12} \cdot 2 = 337,53 \text{ грн.}$$

#### 4.3.4.2 Експлуатація обладнання

Статтю "Експлуатація обладнання" розраховують підсумовуванням витрат на силову електроенергію і допоміжні матеріали. Номінальна потужність ПК – 0,2 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи ПК становить 1800 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0,9 і 0,6. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 1,80 грн.

Витрати на електроенергію визначають за формулою 4.2 :

$$C_{e,p} = N_n \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{зч} \cdot K_{зн} \cdot C_e, \quad (4.2)$$

де  $N_n$ - номінальна потужність ПК, кВт;

$\Phi_{ef}$ - річний ефективний фонд часу роботи ПК, машино-рік;

$K_{зч}$ - середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{зн}$ - коефіцієнт завантаження по потужності;

$C_e$ - ціна одного кВт\*год електроенергії, грн. [17]

Витрати на електроенергію за рік і 2 місяця:

$$C_{e,p} = 0,2 \cdot 1800 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,80 = 349,92 \text{ грн,}$$

$$C_e = 349,92 \cdot \frac{2}{12} = 58,32 \text{ грн.}$$

#### 4.3.4.3 Зарплата обслуговуючого персоналу

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою 4.3:

$$ЗП_{обс} = ФЗП_p \cdot (1 + K_{відр}) \cdot \frac{t_{обсл}}{\Phi_{еф.обсл}}, \quad (4.3)$$

де  $ФЗП_p$ — річний фонд заробітної плати (основної і додаткової) обслуговуючих робітників, грн;

$K_{відр}$  — коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування і в інші фонди;

$t_{обсл}$ — час протягом року, необхідне на технічне обслуговування ПК, ч/рік;

$\Phi_{еф.обсл}$ — річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу, ч / рік. [17]

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 3200 грн., а за два місяці відповідно дорівнює 6400 грн. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговуючого ПК працівника дорівнює 1750 год/рік., тому за 2 місяці буде 291,66 год/рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині на місяць.

$$ЗП_{обс} = 6400 \cdot (1 + 0,22) \cdot \frac{2}{291,66} = 53,54 \text{ грн}$$

Суму витрат за статтею "Поточний ремонт обладнання"  $C_p$  дорівнює 2% від балансової вартості обладнання формула 4.4:

$$C_p = C_{\delta} \cdot 0,02. \quad (4.4)$$

І за 2 місяця буде складати:

$$C_p = \frac{8100,75 \cdot 0,02}{12} \cdot 2 = 27 \text{ грн.}$$

Інші витрати приймаються рівними 5% від суми всіх попередніх статей витрат на утримання і експлуатацію устаткування( формула 4.5). Тому за 2 місяця будуть складати:

$$(A + C_e + 3П_{обсл} + C_p) \cdot 5\%, \quad (4.5)$$

$$(337,53+58,32+53,54+27) \cdot 5\%=23,81 \text{ грн.}$$

#### 4.4 Загальні витрати на НДР

Результати калькуляційних розрахунків наведені в таблиці 4.5

Таблиця 4. 5 - Калькуляція НДР

Стаття калькуляції	Сума, грн	Питома вага до підсумку, %
Основна заробітна плата	21000	76,55
Єдиний соціальний внесок	4620	16,84
Матеріали і комплектуючі	1310,4	4,8
Амортизація обладнання	337,53	1,23
Експлуатація обладнання	58,32	0,21

Заробітна обслуговуючих робітників з відрахуваннями на соціальні заходи	53,54	0,19
Поточний ремонт обладнання	27	0,1
Інші витрати	23,81	0,08
Разом ( $S_{\text{пл}}$ )	27430,6	100

#### 4.5 Техніко-економічна ефективність

Ефективність прикладних НДР визначається, як зіставлення річного економічного ефекту від застосування результатів досліджень в умовах виробництва та використаних капіталовкладень для здійснення досліджень (по кошторису витрат на НДР) та втілення їх у виробництво.

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливості дослідження для народного господарства;
- складності розробки;
- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки;
- пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень.

Так як під час НДР було вирішено проблему нестачі актуальної інформації в сфері теоретичної нелінійної радіолокації, була розглянута модель яка є основою для проведення практичних випробувань з метою отримання більш детальних результатів досліджень, то отриманий результат відповідає планованому і важливість дослідження підтверджена.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

При виконанні завдання на дипломну роботу передбачається використання ПК із спеціалізованим програмним забезпеченням. Тому необхідно виконати вимоги щодо охорони праці для збереження здоров'я робітників.

### **5.1 Аналіз потенційних небезпек**

Проблеми охорони праці повинні розглядатися на всіх етапах трудового процесу незалежно від виду професійної діяльності.

Забезпечення безпечних і здорових умов праці багато в чому залежить від належної оцінки небезпечних, шкідливих виробничих факторів. Схожі за

складністю зміни в організмі людини можуть бути викликані різними причинами. Це можуть бути фактори у виробничому середовищі, надмірний фізичний і розумовий стрес, нервово-емоційний стрес і різні комбінації цих причин.

Відповідність вимогам охорони праці регулюється правовими документами, які приймаються для виконання на всіх підприємствах України та є обов'язковими для всіх фізичних та юридичних осіб. Такими документами є:

- Конституція України;
- Закон України «Про охорону праці»;
- Кодекс законів про працю України;
- Закон України «Про загальнообов'язкове державне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»;
- «Основи законодавства України про охорону здоров'я»;
- Закон України «Про пожежну безпеку»;
- Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення»;
- Закон України «Про професійні спілки, їх права та гарантії діяльності»;
- Нормативно-правові акти з охорони праці. Міжгалузеві та галузеві ДНАОП, стандарти системи стандартів безпеки праці (ГОСТ ССБП), Державні стандарти України з питань безпеки праці (ДСТУ), санітарні норми (СН), державні санітарні правила і норми (Дсан ПіН), будівельні норми і правила (ДБН) та ін.

Під час виконання робіт може виникнути такі потенційні небезпеки:

- електричний шок через несправність електрообладнання, невиконання інструкцій з безпеки при використанні електричного обладнання, що може призвести до електротравм або смерті;

- механічні травми в результаті нераціонального розташування робочих місць;
- нейропсихологічні стреси через специфіку виконуваної роботи, що призводить до захворювань загального характеру;
- негативні стосунки в команді в результаті постійних емоційних невдач, які призводять до посилення емоційного стресу;
- кістково-м'язові порушення внаслідок тривалої статичної напруги м'язів спини, шиї, рук та ніг, що призводить до пошкодження опорно-рухового апарату;
- негативні ефекти від електромагнітних, у тому числі рентгенівських, випромінювань при використанні ПК з електронно-променевою трубкою, що призводить до погіршення зору, зниженого імунітету;
- недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць через несправність або помилкового вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору;
- незадовільний мікроклімат робочого місця через відсутність пристроїв, які забезпечують необхідну систему повітрообміну і обігріву, який може викликати загальне захворювання;
- ймовірність виникнення пожежі внаслідок несправності електрообладнання, невиконанням або порушенням правил пожежної безпеки службовим персоналом, що призводить до пожежі;
- неправильні дії персоналу в надзвичайних ситуаціях, які ведуть до паніки та смерті;
- ймовірність швидкого поширення інфекційних захворювань через недотримання правил особистої гігієни працівників;
- негативний вплив шкідливих речовин (озону, окису азоту, окису вуглецю та ін.) При використанні копіювальних апаратів і принтерів, призводить до подразнення слизових оболонок і шкіри, різних захворювань.

Таким чином були визначені фактори, які несуть потенційну небезпеку та негативно впливають на здоров'я працівників.

## **5.2 Заходи по забезпеченню безпеки**

Обладнання, що використовується в приміщенні є споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220 В від мережі з заземленою нейтралю, та відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання. За способом захисту людини від ураження електричним струмом відповідає згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75\* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» І (стаціонарні комп'ютери,) та ІІ (освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери) класу захисту.

Згідно «Правилам улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ») виконані такі групи заходів з електробезпеки:

- конструктивні заходи (забезпечують захист від випадкового дотику до струмопровідних частин за допомогою їх ізоляції та захисних оболонок, згідно з ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» у приладах ІІ класу захисту використовується подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції, так як згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок» офісні приміщення у більшості своїй відносяться до класу пожежонебезпечної зони ІІ-ІІа (приміщення, в яких містяться тверді горючі речовини), тому передбачений ступінь захисту ізоляції обладнання ІР44);
- схемно-конструктивні заходи (призначені для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих оболонок, які можуть опинитися під напругою в результаті аварій, згідно



з ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» у приміщенні влаштовується занулення);

– організаційні заходи (експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі «ПБЕЕ») та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі «ПБЕЕС»)).

До психофізіологічних небезпечних виробничих факторів відносяться фізичні та нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, емоційні перевантаження, монотонність праці). Для мінімізації негативного впливу напруженості та інтенсивності праці в роботі передбачені:

- 1) оптимальний режим трудового процесу;
- 2) впроваджені сучасні методи психологічного розвантаження, що передбачають:

- 1) деякі перерви використовувати для виконання комплексу фізичних вправ: для зниження нервово-емоційного напруження, втомлення зорового аналізатору, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втомі;

- 2) при проведенні сеансів психофізіологічного розвантаження рекомендується використовувати деякі елементи методу аутогенного тренування, який ґрунтується на свідомому застосуванні комплексу взаємопов'язаних прийомів психічної саморегуляції й виконанні нескладних фізичних вправ з словесним самонавіюванням, головна увага при цьому приділяється набуванню й закріпленню навичок м'язового розслаблення (релаксації);

- 3) перерви рекомендовано проводити в кімнаті психофізіологічного розвантаження з відповідним інтер'єром, кольоровим оформленням та приємним звуковим супроводом.

Таким чином, були розглянуті потенційні небезпеки ураження електричним струмом та запропоновано заходи щодо забезпечення техніки електробезпеки при роботі з електроприладами.

### 5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Для забезпечення оптимальних параметрів повітряного середовища передбачено виконання вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Норми мікроклімату в приміщенні

Період року	Температура, °С	В і д н о с н а вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18-22	40-60	0,1-0,3
Теплий	20-23	40-60	0,1-0,4

Визначимо необхідний повітрообмін у даному офісному приміщенні, площею 20 м<sup>2</sup>, з висотою приміщення 3 м та кількістю працівників 3 особи. Для цього нам необхідно розрахувати два значення повітрообміну: по кратності і по кількості людей, після чого вибрати більше з цих двох значень.

Розрахуємо повітрообмін по кратності (5.1):

$$L = n \cdot S \cdot H, \quad (5.1)$$

де  $L$  – повітрообмін у приміщенні, м<sup>3</sup>/год;

$n$  – нормована кратність повітрообміну. Для офісів  $n = 2.5$ ;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$H$  – висота приміщення, м.

$$L = 2,5 \cdot 20 \cdot 3 = 150 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначимо повітрообмін по кількості людей(5.2):

$$L = N \cdot L_{\text{норм}}, \quad (5.2)$$

де  $L$  – повітрообмін у приміщенні, м<sup>3</sup>/год;

$N$  – кількість працівників, осіб;

$L_{\text{норм}}$  – норма витрати повітря на одну людину. Робота в офісі – 60 м<sup>3</sup>/год.

$$L = 3 \cdot 60 = 180 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Отже, рівень необхідного повітрообміну складає  $L = 180$  м<sup>3</sup>/год. Обчисливши необхідний повітрообмін, обрали вентилятор або припливну установку відповідної продуктивності.

Для забезпечення оптимальних умов передбачено, згідно з ДБН В. 2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» встановлення пристрою водяного або парового опалення, а також створення моделі побутового кондиціонера Samsung AQ24UGF.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщення нормуються згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Зниження шуму в приміщенні здійснюється за допомогою:

- використання більш сучасного обладнання;
- розташування принтерів і різних колективних пристроїв на значній відстані від більшості робочих місць;
- переведення жорсткого диска в сплячий режим (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом певного часу;
- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

Для забезпечення оптимальної освітленості в робочих приміщеннях яка нормується згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення», як 200лк передбачено устрій бокового природного та штучного освітлення. Природне світло потрапляє через світлові прорізи, які забезпечують природну інтенсивність світла (КПО) розміром не менше 1,5%. Для захисту від прямого сонячного світла, який створює прямі і відбиті відображення на поверхні екранів і клавіатур, використовуються сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в кімнаті здійснюється системою рівномірного освітлення. У системі використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД потужністю від 40 до 80 Вт які встановлюються у світильники типу ПВЛ.

При використанні ПК джерелом забруднення повітря є також іонізація молекул речовин, що знаходяться в повітрі. Рівні додатних та від'ємних іонів мають відповідати та приведені у таблиці 4.3.

Таблиця 5.2 – Число іонів в 1см<sup>3</sup> повітря приміщення під час роботи на ПК

Рівні	Мінімально необхідні	Оптимальні	Максимально допустимі
позитивний	400	1500-3000	50000
негативний	600	3000-5000	50000

Величина напруженості електромагнітного поля на робочих місцях з ПК не перевищують граничнодопустимі, які складають 20 кВ/м (ДСНІП 3.3.6.096-2002).

Експозиційна доза рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрана до корпусу монітора при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинні перевищувати  $7,74 \cdot 10^{-12}$  Кл/кг, що відповідає потужності еквівалентної дози 0,1 мБер/год (100 мкР/год).

З метою забезпечення захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювань необхідно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

Для забезпечення ергономічності робочого місця згідно вимог НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», де зазначена заборона захаращеності робочого місця, дотримання нормативів щодо площини робочого місця на одного працівника.

Робочі місця з відеодисплейним терміналом розміщені на віддалі не менше як 1,5 м від стіни з віконними прорізами, від інших стін – на відстані 1 м, одне від одного на відстані не менше ніж 1,5 м. У випадку розміщення робочих місць виключено можливість прямого засвічування екрану джерелом природного освітлення. Робоче місце розташовуванотак, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно з лівого.

Розташовуван дисплей ПК на робочому місці так, що поверхня екрана знаходиться на віддалі 400-700 мм від органів зорукористувача. Висота робочої поверхні столу при виконанні роботи сидячи налаштовуванавмежах 680-800 мм. Робочий стіл має простір для ніг висотою не менше 600 мм, шириною не менше як 500 мм, глибиною на рівні колін не менше 450 мм та на рівні витягнутої ноги не менше як 650 мм.

Поверхня підлоги гладка, без вибоїн, не слизька, має антистатичні властивості, зручна для вологого прибирання. Не було використано для

оздоблення інтер'єру полімерні матеріали, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

Таким чином, був розроблений комплекс організаційних і технічних заходів для забезпечення санітарно – гігієнічних вимог регламентованих при роботі з ПК (СанПиН 9 – 131 РБ 2000), забезпечує зниження ймовірності виникнення у працівників професійних та хронічних захворювань пов'язаних з працею.

#### **5.4 Заходи по забезпеченню пожежної безпеки**

Комплекс протипожежних заходів для приміщення обладнаного персональними електронно-обчислювальними машинами розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні, відповідно до вимог НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків і зовнішніх установок з взривопожежної і пожежної безпеки», приміщення (офіс) обладнане ВДТ належить до виробництв категорії «В» з пожежної небезпеки – пожежонебезпечні виробництва;.

Також залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі за ДБН В. 1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» поділяються на відповідні класи та підкласи. Пожежа в офісі відноситься до класу А, тобто це пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір) та класу Е, тобто це пожежі, пов'язані з горінням електроустановок, які обов'язково є у будь-якому офісі.

Оскільки приміщення належить до виробництв категорії «В» з пожежної небезпеки, тому згідно вимог ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» вона має II ступінь вогнестійкості.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (офісі) обладнаному ПК передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ» (Правила улаштування електроустановок ), встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про пожежу та управління евакуацією людей в будинках та спорудах» і ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (офісі) обладнаному ПК встановлена система пожежної й охоронної сигналізації, яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Відповідно до вимог НАПБ Б.03.002-2004 «Типові норми належності вогнегасників» для гасіння електрообладнання у приміщенні (офісу) обладнаному ПК, що знаходиться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-5 в кількості 2 штук. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

Заходи, що вживаються при виникненні пожежі:

- знеструмлення установок, що знаходяться під напругою мережі живлення;
- запобігання поширенню пожежі за межі вогнища (пристрій аварійного відключення, застосування засобів пожежогасіння тощо);
- запобігання виходу з ладу обладнання при пожежі;
- запобігання загибелі людей під час пожежі шляхом виконання організаційних заходів.

Вимоги, дотримання яких допомагає запобігти або не дати поширитися пожежі в робочому приміщенні:

- стіни, перегородки, перекриття повинні бути зроблені з негорючих матеріалів;

- двері обладнуються в притворах ущільнювачами, щоб не допустити задимлення окремих приміщень;
- в разі виникнення пожежі, система вентиляції автоматично відключатися;
- проводиться щомісячний інструктаж персоналу з техніки безпеки;
- призначається відповідальний за пожежну безпеку;
- передбачається евакуаційне освітлення;
- передбачається план евакуації;

Таким чином, передбачені для приміщення заходи по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки забезпечують безпечні та комфортні умови праці персоналу.

### **5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях. Організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях**

Навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях здійснюється відповідно до Порядку здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 26 червня 2013 року № 444, та Організаційно-методичних вказівок з підготовки працюючого населення до дій у надзвичайних ситуаціях, затверджених 19 вересня 2013 року Головою Державної служби України з надзвичайних ситуацій (надалі – ДСНС України):

- за місцем роботи - працюючого населення;
- за місцем навчання - дітей дошкільного віку, учнів та студентів;
- за місцем проживання - непрацюючого населення.



Навчально-методичне забезпечення навчання забезпечується ДСНС разом з МОН. Освіта населення складається з навчання безпосередньо на підприємствах, поза підприємствами; під час спеціальних навчань на місцях та підготовки цивільної оборони; самонавчання та під час отримання відповідного освітнього рівня у навчальних закладах системи освіти.

Організація навчання діям у надзвичайних ситуаціях покладається:

- працюючого та непрацюючого населення - на центральний виконавчий орган, який забезпечує формування та реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту, Раду міністрів Автономної Республіки Крим, місцеву державну адміністрацію, органи місцевого самоврядування, які розробляють і затверджують відповідні організаційні та методологічні принципи і програми, що готують людей до таких дій;

- дітей дошкільного віку, учнів та студентів - до центрального органу виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізацію державної політики у галузі освіти та науки, який розробляє та затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, методів захисту від впливу небезпечних чинників, зумовлених надзвичайними ситуаціями, надання медичної допомоги в координації з центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту.

Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренінгів з питань цивільного захисту визначається Державною службою України з надзвичайних ситуацій. Державна служба України розробляє навчальну програму з пожежної безпеки в надзвичайних ситуаціях. Громадські організації та позашкільні навчальні заклади проводять навчання відповідно до їх програмами.

Навчання населення, що працює відбувається безпосередньо на підприємстві, в установі чи організації згідно з програмами підготовки працівників до дій у надзвичайних ситуаціях, а також під час проведення

спеціальних тренувань і навчань з питань цивільного захисту. Навчання населення, що працює діям в умовах надзвичайних ситуацій проводиться в робочий час і є обов'язковим, за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення до дій в умовах надзвичайних ситуацій, а також на спеціальних об'єктових навчаннях і тренуваннях з питань цивільного захисту.

Для отримання інформації щодо процедур дій в аварійних ситуаціях, беручи до уваги особливості виробничої діяльності об'єкта, інформація та посилення з питань по цивільному захисту знаходять в спеціальному інформаційному куточку.

При рекрутингу, а також щорічно працівники проходять інструктаж з питань цивільної оборони, пожежної безпеки та дій в умовах надзвичайних ситуацій. Особи, які беруть на себе роботу, пов'язані з підвищеною пожежонебезпекою, проходять спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум).

Працівники, зайняті роботами з підвищеною пожежною небезпекою, раз на рік проходять перевірку знань нормативних актів з пожежної безпеки, а державні службовці, для допуску до виконання обов'язків, а також періодично (один раз на три роки), проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Забороняється допускати до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема, з пожежної безпеки.

Незайняте населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно-довідковий матеріал з питань цивільної оборони, правил пожежної безпеки в повсякденному житті та громадських місць, а також отримує в засобах масової інформації від органів державної влади або органів місцевого самоврядування необхідну інформацію про надзвичайні ситуації, на території яких можуть виявитися непрацюючі громадяни, а також про способи захисту від впливу небезпечних факторів. Практичне

висвітлення теоретичного матеріалу здійснюється щорічним проведенням Дня захисту.

Таким чином, в розділі розглядаються потенційні небезпеки, які можуть виникнути під час роботи, а саме: електричний шок, нервово-психічний стрес, недостатнє освітлення і т.п. Також були прийняті заходи щодо забезпечення безпеки, промислової санітарії та гігієни праці. Була розрахована оптимальний об'єм необхідного повітряного обміну на площі 20 м<sup>2</sup>, висота 3 м і кількістю працівників 3 особи. Також розглянули міри пожежної безпеки для приміщення і класи пожеж, які можуть виникнути там. В останньому розділі було розглянуто організацію навчання працюючого та непрацюючого населення в надзвичайних ситуаціях.

## **ВИСНОВОК**

Був проведений огляд принципів роботи сучасних нелінійних локаторів, описана теорія їх функціонування. Здійснений аналіз умов практичного застосування локаторів нелінійностей, в тому числі, і на фоні перешкоджаючих впливів. Виконано огляд методів виявлення нелінійних елементів за допомогою нелінійного радіолокатора.

В результаті аналізу методів виявлення нелінійних елементів можна зробити висновок про те, що глобально принцип роботи нелінійного локатора залишається незмінним в більшості випадків і чітко проглядаються два основних підходи:

- реєстрація на приймальній стороні подвоєної і потроєної гармонік перевипроміненого НЕ зондуючого сигналу;

– реєстрація комбінаційних частот в спектрі перевипроміненого сигналу.

Проаналізовано застосування нових для нелінійної радіолокації способів зондування: послідовністю надширокосмугових імпульсів, зондування надширокосмугові імпульсами і надвисокочастотним гармонійним сигналом одночасно, моноімпульсного зондування. Розглянуто класичний метод аналізу другої і третьої гармонік, режим «20К», застосування аудіосигналів, двочастотних і багаточастотних сигналів. Проведено порівняльний аналіз, виявлені переваги і недоліки розглянутих методів виявлення нелінійних елементів.

Запропоновано метод підвищення чутливості шляхом використання в якості зонduючого сигналу надширокосмугових імпульсів спільно з гармонійним сигналом надвисокої частоти, в результаті чого з'являється ефект взаємної модуляції, завдяки якому виконується ідентифікація нелінійних об'єктів серед безлічі відбивачів, що не відносяться до нелінійних об'єктів. Даний ефект підтверджується за допомогою програмної моделі, спроектованої в «Matlab».

Також була розглянута розроблена програмна модель в середовищі Matlab, що дозволяє моделювати перевипромінений сигнал від нелінійності з апроксимацією степенем рядом, де було синтезовано кілька видів складних зонduючих сигналів, представлених у вигляді адитивної суміші НШС сигналу і негармонічного НВЧ-сигналу. Проведено спектральний аналіз модельованих перевипромінених сигналів. На підставі результатів аналізу зроблено вибір і обґрунтування зонduючого сигналу, при якому перевипромінений сигнал має найбільше значення потужності. Отримані результати моделювання показали, що як зонduючого сигналу для НРЛ краще використовувати адитивну суміш НШС-сигналу і частотно модульованого НВЧ-сигналу, ніж суму НШС і гармонійного НВЧ-сигналів.

Незважаючи на основний недолік, який полягає в обчислювальній складності при обробці перевипромінених сигналів, надширокосмугові НРЛ є перспективним напрямком досліджень.

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вернигоров Н.С. Нелинейный локатор - эффективное средство обеспечения безопасности в области утечки информации [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=32&lvl=04.01.02>.
2. Джонс Т. Обзор технологии нелинейной локации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.sinf.ru/catalog/sp\\_articles/article03.htm](http://www.sinf.ru/catalog/sp_articles/article03.htm)

3. Теличко, Е.А. Практика применения нелинейного лоатора. Учебно-методическое пособие / Е. А. Теличко, В.А. Трушин - Новосибирск: НГТУ, 2007. - 21 с.
4. Средства защиты информации: конспект лекции. Львов: НУ ЛП [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://antibotan.com/file.html?work\\_id=203205](http://antibotan.com/file.html?work_id=203205)
5. Способы селекции помех от случайных источников: конспект лекции. [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург: БГТУ "ВОЕНМЕХ", 2015. - Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/2532193/page:9/>
6. Физические основы защиты информации: конспект лекции. [Электронный ресурс]. Уфа: УГАТУ, 2014 – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/994527/page:3/>
7. Интернет-магазин "Radio-Security" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://radio-security.com.ua/g5033633-nelinejnye-lokatory>
8. Иванов, М.М. Обзор методов обнаружения нелинейных элементов с помощью нелинейного радиолоатора / М.М. Иванов, В.К. Железняк, В.М. Чертков //HERALD OF POLOTSK STATE UNIVERSITY. Series C, FUNDAMENTAL SCIENCES. – 2017. - №12- С. 10-16.
9. Чертков В. М. Аппаратно-программный комплекс автоматизированного поиска с возможностью идентификации радиоэлектронных средств скрытого съема информации / В. М. Чертков, В. К. Железняк // Известия НАН Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2016. – № 4. – С. 99-105.
10. Защита переговоров, видеонаблюдение, контроль доступа, охранно-пожарная безопасность [Электронный ресурс] // Зачем нужен нелинейный лоатор и как с ним работать! – 2010. – Режим доступа: <http://www.detsys.ru/article/zachem-nujen-nelineynyy-lokator>.
11. Замятина, И.Н. Способ и устройство измерения угловой высоты объекта поиска в обзорных нелинейных радиолоаторах [Электронный

ресурс] // И.Н. Замятина, В.И. Ирхин. - 2014. - Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2474839C1/ru>

12. Лоцилов, А.Г. Разработка принципов нелинейной сверхширокополосной радиолокации /А.Г. Лоцилов // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 4 (30). – С. 31–38.

13. Иванов, М. М. Повышение чувствительности нелинейного радиолокатора / М. М. Иванов, В.К. Железняк, В. М. Чертков // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. С, Фундаментальные науки. – 2016. – № 4. – С. 72–77.

14. Леонтьев, В.О. Експериментальне дослідження проблем детектування закладних пристроїв засобами нелінійної локації/ В.О. Леонтьев // Реєстрація, зберігання і обробка даних. - 2018. - Т. 20. - № 1. – С. 70-75.

15. Дистанционная сверхширокополосная томография нелинейных радиоэлектронных элементов / В.П. Якубов, К.Г. Склярчик, Р.В. Пинчук и др. // Журнал технической физики. – 2015. – Т. 85, Вып. 2. – С. 122–125.

16. Иванов, М. М. Моделирование и обработка отклика сложного зондирующего сигнала от нелинейности с аппроксимацией степенным рядом / М.М. Иванов, В.М. Чертков //HERALD OF POLOTSK STATE UNIVERSITY. Series C, FUNDAMENTAL SCIENCES. - 2018. - №4 - С. 71-78.

17. Остапенко, В.В. Методические указания по экономическому обоснованию дипломных проектов /Сост. В.В.Остапенко, Е.М. Касьян, Е.М.Сердюк - Запорожье: ЗНТУ, 2009. - 22 с.