

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

Карнаух Валерій Всеволодович



УДК 621.396.62

**МЕТОД ЗБІЛЬШЕННЯ ДИНАМІЧНОГО ДІАПАЗОНУ
АКУСТООПТИЧНОГО АНАЛІЗАТОРА СПЕКТРА РАДІОСИГНАЛІВ**

05.12.17 – радіотехнічні і телевізійні системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Заслужений винахідник України
Стрелков Олександр Іванович,
завідувач кафедри фізики
Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба,
Міністерства оборони України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Заслужений раціоналізатор України
Козаков Євген Леонідович,
провідний науковий співробітник
Наукового центру Повітряних Сил
Харківський університет Повітряних Сил ім. І.Кожедуба,
Міністерства оборони України.

доктор технічних наук, професор
Карташов Володимир Михайлович,
завідувач кафедри радіоелектронних систем
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Захист відбудеться „ 15 ” січня 2013 року о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.03 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166 Харків, просп. Леніна, 14, у залі засідань

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166 Харків, просп. Леніна, 14.

Автореферат розіслано „ 10 ” грудня 2012 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.М. Безрук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Радіочастотний моніторинг є на сьогодні важливим інструментом досягнення ефективності у використанні національного радіочастотного ресурсу. Якість радіочастотного моніторингу взагалі визначається наявністю засобів спектрального аналізу радіосигналів (РС), які задовольняють умовам електромагнітної обстановки в районі застосування.

В умовах високої насиченості радіочастотного ресурсу особливу актуальність набуває проблема спектрального аналізу електромагнітної обстановки. У зв'язку з цим виникають завдання поліпшення тактико-технічних характеристик (ТТХ) засобів радіочастотного аналізу і, зокрема, розширення їх динамічного діапазону. Зараз одним з перспективних класів засобів радіочастотного моніторингу є акустооптичні аналізатори спектра радіосигналів (АОАС РС). Їх широке розповсюдження для вирішення завдань радіочастотного моніторингу зумовлено поєднанням у них властивостей пристроїв панорамного прийому і спектрального аналізу РС. Важливою характеристикою засобів радіочастотного моніторингу, в тому числі і АОАС, є динамічний діапазон, який вказує на міру здатності пристрою нормально функціонувати за певним критерієм в умовах впливу на його вхід сигналів з великим розкидом потужностей.

Для АОАС, як для панорамних пристроїв, динамічний діапазон набуває ще більшого значення. Це зумовлено тим, що при панорамному прийомі та аналізі спектрів РС відмінність амплітуд відповідних складових може бути дуже великою. Імовірність же одночасного впливу на вхід пристрою сигналів з різними рівнями потужності збільшується внаслідок широкосмуговості приймальних пристроїв. Отже, тема дисертаційної роботи, спрямованої на розробку методів збільшення динамічного діапазону засобів радіочастотного аналізу електромагнітної обстановки та поліпшення якості спектрального аналізу радіосигналів, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційних досліджень пов'язана з науково-дослідними роботами: тема «Розробка принципів побудови пристрою виявлення пачок коротких оптичних сигналів блоку Ч-1», тема № 01-27, № ДР 02071197, 2001 - 2005 р.р., тема «Розробка методів підвищення роздільної здатності, збільшення динамічного діапазону акустооптичного аналізатора спектра» № 05-22, № ДР 0105U007073, 2005-2008 р.р. тема «Методи підвищення динамічного діапазону блоку Ч1 та розробка пропозицій з їх реалізації» № 09-20, 2009-2010 р.р., в яких здобувач був виконавцем. Під час написання звітів з НДР використано матеріали дисертаційних досліджень здобувача, а саме: аналіз шляхів підвищення динамічного діапазону АОАС в умовах приймання РС в широкому діапазоні їх потужностей; математична модель процесів акустооптичного перетворення і фотодетектування оптичних сигналів АОАС; метод підвищення динамічного діапазону АОАС; алгоритми виявлення оптичних сигналів АОАС при їх нелінійному перетворенні.

Мета та задачі досліджень. Метою роботи є покращення характеристик виявлення сигналів з великим розкидом потужностей в акустооптичному аналізаторі спектру при їх нелінійному перетворенні.

Науково-технічна задача дослідження – розробка методу розширення динамічного діапазону АОАС РС. Для досягнення поставленої мети в роботі були

вирішені такі часткові науково-технічні задачі: порівняльний аналіз методів і технічних засобів радіочастотного моніторингу; структурний і функціональний аналіз АОАС РС; аналіз фізичних чинників і структурних особливостей АОАС РС, які обмежують його динамічний діапазон; розробка математичної моделі процесів акустооптичної взаємодії та детектування оптичних сигналів; аналіз математичної моделі процесів акустооптичної взаємодії і детектування оптичних сигналів у широкому діапазоні інтенсивностей РС; оцінка ефективності методу підвищення динамічного діапазону АОАС РС; розробка пропозицій та рекомендацій щодо технічної реалізації методів підвищення динамічного діапазону АОАС РС.

Об'єкт дослідження – процеси акустооптичної взаємодії та детектування оптичних сигналів АОАС РС.

Предмет дослідження – методи обробки та виявлення оптичних сигналів АОАС РС.

Методи дослідження. У дисертації застосовано теоретичні та експериментальні методи досліджень, а саме: для описання процедур перетворення сигналів АОАС РС, їхніх статистичних і енергетичних характеристик використано основні положення хвильової та корпускулярної теорії світла, теорії ймовірностей, теорії побудови радіотехнічних та оптико-електронних систем (ОЕС); для синтезу методу підвищення динамічного діапазону АОАС і вирішення задачі виявлення оптичних сигналів АОАС застосовано методи статистичного синтезу і основні положення теорії прийняття рішень; для підтвердження адекватності результатів теоретичних досліджень та перевірки працездатності розробленого методу; проведено експериментальні дослідження з застосуванням методів оптимального планування експерименту і математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів. В ході дисертаційних досліджень отримано такі нові наукові результати:

1. Набула подальшого розвитку математична модель процесів акустооптичної взаємодії та детектування оптичних сигналів АОАС у широкому діапазоні інтенсивностей вхідних РС, яка на відміну від відомих, враховує корпускулярні властивості процесу фонон-фононної взаємодії та мультиплікативний вплив завадової складової оптичних сигналів що реєструються [1, 3].

2. Удосконалено метод збільшення динамічного діапазону АОАС РС, який відрізняється від відомих тим, що вибір параметрів ослаблення та внутрішньоканалового накопичення сигналів враховує нелінійні ефекти фонон-фононної взаємодії в акустооптичному модуляторі та мультиплікативного перетворення сигналів у фотоприймачі при великих амплітудах сигналу і завади [3, 4].

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено метод збільшення динамічного діапазону АОАС РС, застосування якого дозволяє виявляти радіосигнали у більш широкому діапазоні потужностей з покращеними характеристиками. Експериментальні дослідження підтверджують можливість збільшення динамічного діапазону АОАС, що істотно підвищує якість проведення заходів з моніторингу радіочастотного ресурсу України.

Основні наукові результати дисертаційних досліджень: математична модель процесів акустооптичної взаємодії і детектування оптичних сигналів АОАС РС та метод збільшення динамічного діапазону АОАС РС реалізовані в практичній діяльності ПАТ СКБ РТУ «Топаз» (акт реалізації).

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що складають суть

дисертаційної роботи і знайшли відображення в пунктах новизни, наукового і практичного значення, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, автором запропоновано таке.

У роботі [1] на основі корпускулярного підходу проведено аналіз впливу нелінійних ефектів під час дифракції світла на ультразвуковій хвилі великої інтенсивності. Показано, що основний ефект надають процеси розпаду (злиття) фононів, в результаті яких виникають звукові хвилі з новими хвильовими векторами.

У роботі [2] розроблено математичну модель приймача оптичного випромінювання АОАС РС з урахуванням нелінійного впливу часу накопичення сигналів на його характеристики. Проведено аналіз впливу часу накопичення оптичного сигналу на динамічний діапазон приймача оптичного випромінювання та пристрої акустооптичного перетворення РС в цілому.

У роботі [3] отримано оцінки інтенсивностей процесів 3-фононних розпадів, що призводять до появи додаткових дифракційних максимумів. Проведено статистичний аналіз і отримано ймовірнісні характеристики виявлення оптичних сигналів у АОАС.

У роботі [4] з метою узгодження амплітуди РС з динамічним діапазоном АОАС, з урахуванням ефектів фонон-фононної взаємодії та нелінійності характеристик приймача оптичного випромінювання розроблено метод дискретного накопичення оптичних сигналів. Проведено аналіз ймовірнісних та енергетичних характеристик.

У роботі [5] синтезовано метод визначення частоти вхідного сигналу великої інтенсивності, при якій виявляються нелінійні ефекти в АОАС. Метод базується на порівнянні прийнятої реалізації сигналу з виходу АОАС з каліброваними значеннями відгуку АОАС для вхідних РС фіксованої частоти та інтенсивності.

У роботі [6] описано алгоритм обліку нелінійності, котрий ґрунтується на методах розпізнавання сигналів з використанням навчальної вибірки.

У роботі [7] синтезовано алгоритм розпізнавання вихідних сигналів АОАС, базується на багатоальтернативній перевірці гіпотез з використанням навчання.

У роботі [8] вирішено задачу розрізнення сигналів залежно від динамічного діапазону АОАС і співвідношення амплітуд спектральних складових РС.

Апробація результатів дисертаційних досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку», ХНУРЕ, 2002 [9], Міжнародній конференції «Теорія і техніка передачі, прийому та обробки інформації», ХНУРЕ, 2003 [10], III Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку», Харків, ХНУРЕ, 2008 [11]; V науковій конференції «Новітні технології – для захисту повітряного простору», Харків, ХУПС, 2009 [12].

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, з яких 8 статей у наукових збірниках і журналах, рекомендованих ВАК України.

Структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Повний обсяг дисертації становить 138 сторінок, з них дисертації без додатків – 135 сторінок, 42 рисунки, список використаних джерел, що включає 62 найменування, займає 6 сторінок, а також 2 додатки на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить загальну характеристику проблемного питання, обґрунтування необхідності проведення досліджень за темою дисертації та їх актуальність. Вказано на зв'язок теми роботи з науковими програмами, планами, темами. У вступі сформульовано мету, наукову задачу та окремі науково-технічні задачі, об'єкт і предмет дисертаційних досліджень, визначено новизну, наукову та практичну цінність нових отриманих результатів. Висвітлено особистий внесок автора в опублікованих працях, результати апробації та досліджень.

Перший розділ присвячений аналізу об'єкта, предмета дисертаційних досліджень, а також сучасному стану радіочастотного ресурсу, який характеризується високою інтенсивністю використання і, як наслідок, перевантаженістю радіочастотних діапазонів усіма категоріями користувачів. При цьому рівень розвитку засобів радіочастотного моніторингу в більшості випадків не відповідає рівню розвитку засобів радіозв'язку.

Аналіз принципів і методів акустооптичної обробки РС дозволив сформулювати завдання дисертаційних досліджень. Згідно з прийнятим визначенням, динамічним діапазоном АОАС РС є міра здатності пристрою нормально функціонувати за визначеним критерієм під час дії на його вхід сигналів з великим розкидом рівнів. При впливі одного сигналу динамічний діапазон знаходимо за відношенням максимального рівня сигналу E_{\max} , при якому нелінійні спотворення не перевищують допустимих, до номінальної чутливості E_{\min} в умовах реєстрації сигналу на фоні власних шумів приймача

$$D = E_{\max} / E_{\min} \quad (1)$$

Декомпозиція задачі дисертаційних досліджень з урахуванням (1) дозволяє визначити основні шляхи підвищення динамічного діапазону. Перший пов'язаний з вирішенням класу завдань щодо усунення нелінійних перетворень сигналів великої амплітуди. Другий спрямований на підвищення якості виявлення слабких сигналів на фоні адитивних завад. Як показали результати аналізу процесу акустооптичної взаємодії, збільшення інтенсивності РС, а отже і звукової хвилі в акустооптичному модуляторі,



Рис. 1. Результати експериментальних досліджень

- а – відмітка частоти еталонного сигналу;
- б – шуми приймача оптичного випромінювання;
- с – хибні відмітки

призводить до зменшення енергії оптичного сигналу в площині фотокатода.

Результати проведених експериментальних досліджень виявили нові нелінійні ефекти, які мали місце під час дії на вхід АОАС радіосигналу великої інтенсивності. Даний ефект виявляється в появі деяких помилкових максимумів у дифракційної картини, просторові координати яких не збігаються з максимумами інших порядків у дифракційній картині Брегга (рис. 1).

Аналіз функційної схеми АОАС (рис. 2), дозволив визначити напрямки пошуку причин виникнення помилкових максимумів при реєстрації інтенсивних РС. Виключаючи вплив на розглянуті ефекти фотоприймача, увагу було зосереджено на побудові математичної моделі процесу акустооптичної взаємодії.

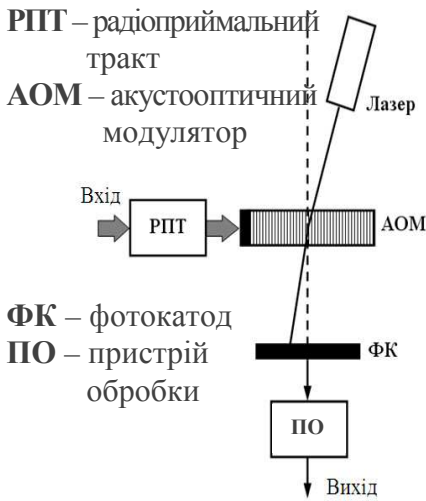


Рис.2. Функційна схема АОАС РС

Другий розділ містить результати розробки математичної моделі процесів акустооптичної взаємодії та детектування оптичних сигналів АОАС в широкому діапазоні інтенсивностей вхідних РС, а також їхній аналіз.

На жаль, хвильова теорія дифракції не описує якісні та кількісні характеристики сигналів, що приймаються. Вказані особливості дифракції світла на звукові можуть бути пояснені нелінійним характером коливань атомів у звуковій хвилі великої амплітуди. Нелінійність коливань призводить до того, що газ фононів перестає бути ідеальним і необхідно враховувати взаємодію між ними.

Найпростішим проявом фонон-фононної взаємодії є 3-фононні процеси: розпад початкового фонона з хвильовим вектором \vec{k} і частотою

ω на два інших фонона з хвильовими векторами \vec{k}_1 , \vec{k}_2 і частотами ω_1 , ω_2 відповідно. Внаслідок цього на фоні початкового дифракційного максимуму мають з'явитися додаткові максимуми дифракції під іншими дифракційними кутами.

Інтенсивність звукових хвиль, які генеруються внаслідок 3-фононних процесів, визначаються ймовірністю їх реалізації

$$p \sim \frac{|W(\vec{k}, \vec{k}_1, \vec{k}_2)|^2}{\omega \omega_1 \omega_2} N(\vec{k})(N(\vec{k}_1)+1)(N(\vec{k}_2)+1), \quad (2)$$

де $W(\vec{k}, \vec{k}_1, \vec{k}_2)$ – функція, яка описує поширення акустичної хвилі в АОМ;

$N(\vec{k})$ – кількість фононів за всіма можливими хвильовими векторами \vec{k} .

Зазначимо, що в даному процесі енергія опорного світлового пучка перерозподілятиметься за більшою кількістю дифракційних максимумів. Внаслідок цього інтенсивність основного максимуму зменшуватиметься.

Уявляючи роботу приймача як процес з перетворення потоку квантів світла у потік носіїв заряду, перейдемо до дискретної форми опису сигналу. Середня кількість носіїв заряду s_i в i -му елементі розрізнення приймача, накопичена за час T_H , пропорційна

$$\bar{s}_i = \bar{s}_0 \left| \frac{\sin(a(i - i_0))}{a(i - i_0)} \right|^2, \quad (3)$$

де a – розмірний коефіцієнт пропорційності.

i_0 – координата максимуму дифракційної картини.

Статистика струму на виході кожного елемента фотоприймача характеризується ймовірністю $P(s_i)$ появи s_i носіїв в i -му елементі за час T_H

$$P(s_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{si}^2}} \exp\left(-\frac{(s_i - \bar{s}_i)^2}{2\sigma_{si}^2}\right) \quad (4)$$

із середнім \bar{s}_i і дисперсією $\sigma_{si}^2 = \bar{s}_i$.

Шум приймача подаємо так само, як (4) з середнім \bar{g}_i і дисперсією $\sigma_{g_i}^2 = \bar{g}_i$. Ймовірність появи n_i носіїв в реалізації буде

$$P(n_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ni}^2}} \exp\left(-\frac{(n_i - \bar{n}_i)^2}{2\sigma_{ni}^2}\right), \quad (5)$$

де $\bar{n}_i = \bar{s}_i + \bar{g}_i$ і $\sigma_{ni}^2 = \bar{n}_i = \bar{s}_i + \bar{g}_i$.

Тоді просторовий розподіл інтенсивності дифракції може бути подано як суперпозицію апаратних функцій АОМ і просторово стаціонарної завади

$$\bar{n}_i = \sigma_{ni}^2 = \bar{g}_i + \bar{s}_i + \sum_f \bar{s}_{i,f}, \quad (6)$$

де параметр f нумерує можливі додаткові акустичні хвилі.

Відтак, реалізація n_i на виході фотоприймача являє собою трикомпонентну адитивну суміш випадкових процесів, зумовлених: внутрішніми шумами приймача (g_i); дією світлового потоку, який дифрагував на пружній акустичній хвилі початкової частоти (s_i) на акустичних хвилях, утворених внаслідок 3-фононних процесів ($s_{i,f}$).

Неоднорідність вибірки значно ускладнює вирішення задачі синтезу оптимального алгоритму виявлення. Вирази для умовної ймовірності хибної тривоги F^* і правильного виявлення D^* можуть бути записані у вигляді

$$F^* = \frac{1}{2} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \Phi \left[\frac{n_0 - (\bar{g}_i + \sum_f \bar{s}_{i,f})}{\sqrt{\bar{g}_i + \sum_f \bar{s}_{i,f}}} \right], \quad (7)$$

$$D^* = \frac{1}{2} - \Phi \left[\frac{n_0 - (\bar{g}_{i_0} + \bar{s}_{i_0} + \sum_f \bar{s}_{i,f})}{\sqrt{\bar{g}_{i_0} + \bar{s}_{i_0} + \sum_f \bar{s}_{i,f}}} \right]. \quad (8)$$

У разі роботи АОАС в лінійному режимі динамічної характеристики можна вважати, що $\bar{s}_{i,k} \ll \bar{g}_i$. Тоді вибір порогу виявлення можна зробити відповідно до критерію Неймана-Пірсона.

Скористаємося виразом для інтенсивності сигналу в площині фотокатода у максимумі першого порядку під час виконання умов дифракції Брегга $E_o \sim \sin^2\left(\frac{q}{2}\right)$, де індекс фазової модуляції q залежить від потужності $P_{зв}$.

Тоді середня кількість носіїв заряду в елементі розрізнення i_0 буде такою:

$$\bar{s}_{i_0} \sim \sin^2\left(a\sqrt{P_{зв}}\right). \quad (9)$$

Вводячи відповідні коефіцієнти зниження r_f , потужності цих звукових хвиль можна уявити у вигляді $P_{зв f} = r_f P_{зв}$ ($P_{зв} = \text{const}$). Аналогічно до (9), середня кількість носіїв заряду в елементах розрізнення i_f описується виразом

$$\bar{s}_{i_f} \sim \sin^2\left(a\sqrt{r_f P_{зв}}\right), \quad a f = 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

Чисельне моделювання проводилося відповідно до наведених виразів (9, 10). Розрахунок залежності умовної ймовірності правильного виявлення і хибної тривоги проводився відповідно до (7, 8).

Як показують розрахунки, ймовірність хибної тривоги збільшуватиметься із зростанням потужності ультразвукової хвилі і пропорційно кількості сигналів, сформованих дифракцією світла на додаткових звукових хвилях.

Розглянемо фізичну модель приймача оптичного випромінювання у вигляді послідовності елементів розрізнення, які створено інтегруючим RC колом.

Величина напруги $U_{\text{Секв.}}$ на виході приймача визначається виразом

$$U_{\text{Секв.}} = U_0 \left[1 - e^{-\frac{T(1+\gamma P_c + \gamma P_3)}{R_T C}} \right], \quad (11)$$

де: U_0 – опорна напруга; T – час накопичення сигналу; R – еквівалентний опір елемента; C – еквівалентна місткість елемента; γ – коефіцієнт пропорційності.

Враховуючи слабе випромінювання для сигнальної складової:

$$T\gamma P_c / R_T C \ll 1, \quad (12)$$

для завадової складової:

$$T\gamma P_3 / R_T C \ll 1, \quad (13)$$

і завадової складових, з урахуванням наближення $e^{-x} \approx 1 - x$, при $x \ll 1$ маємо

$$U_{\text{Секв.}} = U_0 \left[\frac{T}{R_T C} + \frac{T\gamma P_c}{R_T C} + \frac{T\gamma P_3}{R_T C} \right], \quad (14)$$

де: P_c, P_3 – потужність сигналу і завадової адитивної завади, відповідно.

Сигнальну U_c , завадову U_3 і темнову U_T складові напруги на виході запишемо як

$$U_c = U_0 \frac{T\gamma P_c}{R_T C}, \quad U_{\text{II}} = U_0 \frac{T\gamma P_3}{R_T C}, \quad U_T = \frac{T}{R_T C}. \quad (15)$$

У разі реєстрації слабого сигналу на фоні адитивної перешкоди великої потужності умова (13) порушується і вираз для напруги на виході приймача не може бути використаний у вигляді (14) або (15)

$$T\gamma P_3 / R_T C \geq 1, \quad (16)$$

провівши перетворення і нехтуючи членами малого порядку для (11), отримаємо

$$U_{\text{Секв.}} = U_0 - U_0 e^{-\frac{T\gamma P_3}{R_T C}} + U_0 \frac{T}{R_T C} e^{-\frac{T\gamma P_3}{R_T C}} + U_0 \frac{T\gamma P_c}{R_T C} e^{-\frac{T\gamma P_3}{R_T C}}. \quad (17)$$

Очевидно, що для даного випадку складові напруги визначатимуться

$$U_c = U_o \frac{T\gamma P_c}{R_T C} e^{-\frac{T\gamma P_3}{R_T C}}, \quad U_3 = U_o e^{-\frac{T\gamma P_3}{R_T C}}, \quad U_T = U_o \frac{T}{R_T C} e^{-\frac{T\gamma P_3}{R_T C}}. \quad (18)$$

Як видно з виразів (11) і (14), під час реєстрації слабого сигналу на фоні адитивної перешкоди малої потужності (12), (13) процес їх реєстрації фотоприймачем можна вважати лінійним. Ця умова дозволяє використовувати для синтезу алгоритмів їх обробки принцип суперпозиції.

За результатами математичного моделювання проведено розрахунки з метою оцінки якісних характеристик сигналу. Найважливіші для розуміння суті роботи результати математичного моделювання наведено на рис. 3 – 8, 10. Як видно з рис. 3 а, характеристика фотоприймача в даному випадку є лінійною. Реєстрація сигналу на фоні значної завади призводить до порушення умови (13) і змушує відмовитися від використання лінійної моделі. Як видно з характеристики фотоприймача (рис. 3 б), лінійність процесу фотореєстрації не дозволяє накопичувати сигнал на великому часовому інтервалі.

В цьому випадку спостерігається якісна зміна взаємодії сигналу і завади – виникнення додаткового, мультиплікативного зв'язку між ними (17). Аналіз виразу (18) свідчить про відповідний мультиплікативний вплив завади на сигнальну складову. Залежність величини напруги сигнальної складової від часу описується унімодальною функцією, максимум якої відповідний оптимальному часу реєстрації сигналу (8).

Третій розділ присвячено розробці методу підвищення динамічного діапазону АОАС РС та оцінці його ефективності. Основною вимогою до методу, що розробляється, є забезпечення ним заданого рівня якісних характеристик сигналу на виході АОАС в широкому діапазоні потужностей РС. Для оптимальної роботи АОМ необхідно, щоб виконувалася умова $q \approx \pi$, котра залежить від потужності звуку $P_{зв}$ на вході, як $q \sim \sqrt{P_{зв}} \pi$. Тоді, подібно до (9)

$$I_{oc} \sim \sin^2(a\sqrt{P_{зв}}). \quad (19)$$

Оскільки додаткові звукові хвилі мають потужності менші, ніж початковий сигнал, запишемо $P_{звf} = r_f P_{зв}$, де r_f – коефіцієнти потужності. Можна показати, що r_f виражаються через коефіцієнти фонон-фононної взаємодії як

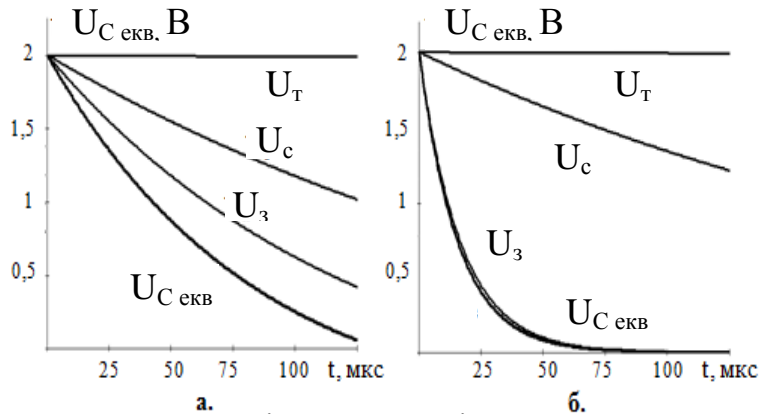


Рис.3. Залежність напруги від часу накопичення

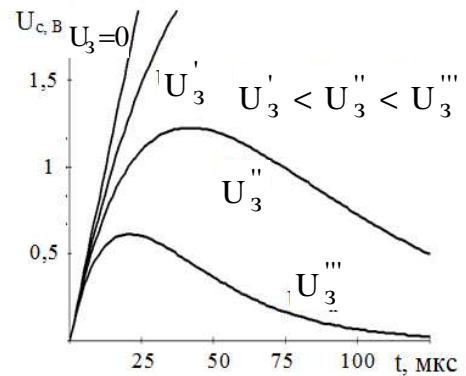


Рис.4. Залежність величини сигналу від часу накопичення

$$r_f \sim |W_f[\bar{k}, \bar{k}_1, \bar{k}_2]|^2.$$

Для усунення нелінійних ефектів в АОАС необхідно використовувати атенюатор. Середня кількість носіїв заряду в i -му елементі для основного сигналу може складати

$$\bar{s}_{i0} \sim S_0 \sin^2(a\sqrt{P_{ЗВ}/K}), \quad (20)$$

де S_0 – коефіцієнт пропорційності.

З графіків (рис. 5) видно, що реалізація процедури послаблення РС дозволяє узгоджувати потужність вхідного РС з динамічним діапазоном АОАС.

Необхідною умовою максимуму умовної вірогідності правильного виявлення є досягнення максимуму інтенсивності сигналу:

$$D = \frac{1}{2} - \Phi \left[\frac{n_0 - (\bar{g}_i + S_0 \sin^2(a\sqrt{\frac{P_{ЗВ}}{K}})) + \sum_f \bar{s}_{if}}{\sqrt{\bar{g}_i + S_0 \sin^2(a\sqrt{\frac{P_{ЗВ}}{K}})) + \sum_f \bar{s}_{if}}} \right], \quad (21)$$

де: g_i, s_{i0}, s_{if} – кількість носіїв заряду, зумовлених адитивною завадою, сигналом і помилковими сигналами в i -му елементі; n_0 – поріг виявлення.

Для визначення даного максимуму знайдемо похідну від (20) і прирівняємо її до нуля, знайдемо оптимальне значення K

$$K^* = \frac{4a^2 P}{\pi^2}. \quad (22)$$

Інтенсивність додаткових (помилкових) максимумів на фотоприймачі при послабленні вхідного сигналу подається у вигляді

$$\bar{s}_{if} = S_0 \sin^2[a\sqrt{r_f P_{ЗВ}/K}]. \quad (23)$$

Оскільки $r_f \ll 1$, то в умовах зниження потужності звуку інтенсивність додаткових максимумів істотно спадає і при оптимальному значенні коефіцієнта атенюації K^* інтенсивність помилкових максимумів буде

$$\bar{s}_{if} = S_0 \sin^2[\pi/2\sqrt{r_f}].$$

Вираз (23) дозволяє записати в загальному вигляді для функції умовної ймовірності помилкової тривоги з урахуванням коефіцієнта послаблення РС:

$$F^* = \frac{1}{2} - \frac{\sum_i \Phi \left[\frac{n_0 - (\bar{g}_i + \sum_f S_0 \sin^2(a\sqrt{\frac{r_{fi} P_{ЗВ}}{K}}))}{\sqrt{\bar{g}_i + \sum_f S_0 \sin^2(a\sqrt{\frac{r_{fi} P_{ЗВ}}{K}})}} \right]}{m}. \quad (24)$$

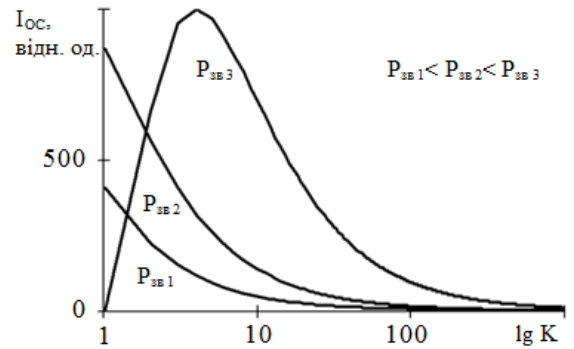


Рис.5. Залежність величини максимуму першого порядку від значення коефіцієнта послаблення

Зміна величини умовної ймовірності хибної тривоги не призводить до зміни виду функції (21), а лише зумовлює її кількісні зміни.

Недостатність умови досягнення максимуму значення коефіцієнта фазової модуляції за критерієм Неймана-Пірсона обумовлена просторовою нестационарністю адитивних завад (рис. 6). Функція (24) із зростанням величини K прямує до значення, яке описується за умови, що $\bar{s}_{if} = 0$:

$$F = \frac{1}{2} - \frac{1}{m} \sum_i \Phi \left[\frac{n_0 - \bar{g}_i}{\sqrt{\bar{g}_i}} \right]. \quad (25)$$

Очевидно, що функція (24) в межах (25) описує процес багатоканального виявлення сигналу на фоні просторово-стаціонарної завади, а сам алгоритм виявлення може бути описаний алгоритмом Неймана-Пірсона, синтезованим для виявлення шумоподібного сигналу на фоні Пуассонівської завади.

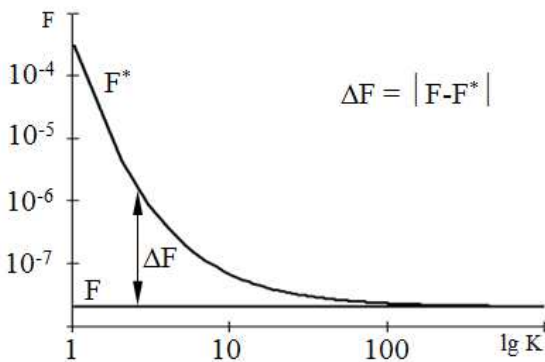


Рис.6. Залежність величини ймовірності хибної тривоги від значення коефіцієнта послаблення

Значення коефіцієнта послаблення може бути $K > K^*$, що не забезпечить досягнення максимуму умовної ймовірності правильного виявлення. Як приклад таких процедур розглянемо методи накопичення сигналів, що дозволяють підвищити енергію сигналу за рахунок його накопичення. У разі слабкого випромінювання вираз (14), з урахуванням корпускулярних властивостей оптичних сигналів, можна перетворити до вигляду, який описує середню кількість носіїв заряду через коефіцієнт α

$$\bar{s}_{i0} = \alpha U_c. \quad (26)$$

Збільшення потужності завади спричинює появу мультиплікативних перетворень сигналу, при цьому напруга на виході фотоприймача описується:

$$U_{\text{вих}} = U_0 \frac{T\gamma P_c}{R_T C} \exp\left(-\frac{T\gamma P_3}{R_T C}\right). \quad (27)$$

Наявність експоненційного множника в (27) пояснює спад характеристики фотоприймача (рис. 7). При достатній потужності завади залежність величини сигналу від величини часу має максимум.

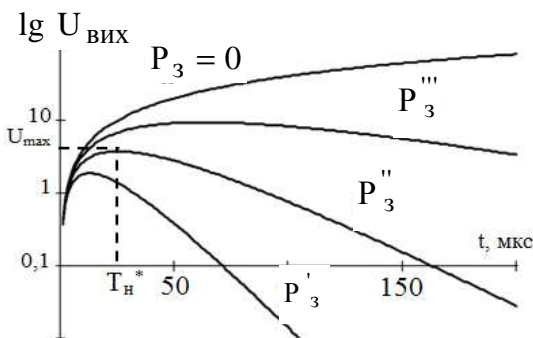


Рис.7. Залежність величини вихідної напруги фотоприймача від часу накопичення

Оптимальне значення часу накопичення сигналу на фотокатоді визначається за умови знаходження максимуму функції (27). Для цього, перетворюючи і диференціюючи (27), отримуємо для оптимальної величини часу накопичення сигналу

$$T_H^* = R_T C / \gamma P_3. \quad (28)$$

З аналізу рис. 7 видно, що даний час накопичення хоча і забезпечує максимум енергії сигналу на виході фотоприймача, але

не є оптимальним. В даному випадку доцільно під оптимальною роботою фотоприймача розуміти приймання сигналу в умовах відсутності завад $P_3 = 0$. Дійсно, аналізуючи різницю вигляду:

$$\Delta U = |U_{\text{вих}}(P_{\text{п}} = 0) - U_{\text{вих}}(P_3 \neq 0)| \quad (29)$$

можна помітити, що вона відмітна від нуля, але прямує до нього із зменшенням величини $T_{\text{н}}$ (рис. 8). Звідси зрозуміло, що досягнення оптимального значення енергії сигналу на виході фотоприймача пов'язано із зменшенням часу його накопичення. Час неперервного накопичення сигналу на фотокатоді може бути задано з умови досягнення різницею (29) допустимого малого значення δ_T

$$T_{\text{н}}^{**}(\Delta U \leq \delta_T) < T_{\text{н}}^*(U_{\text{max}}). \quad (30)$$

Зменшення абсолютного значення потужності сигналу на виході фотоприймача призводить до погіршення енергетичних і ймовірнісних характеристик виявлення. Виходом з даної ситуації може бути застосування в схемі обробки оптичних сигналів процедури їх накопичення, яка дозволяє підвищити виявлення сигналу пропорційно \sqrt{n} , де n – кількість накопичених кадрів. Величина кількості накопичених кадрів n була введена для зручності опису процесу дискретного накопичення сигналів, при цьому для розрахунків тривалість накопичення приймалась $T_{\text{н}} = 25$ мкс. Вплив процесу накопичення можна показати для відношення с/ш на виході фотоприймача. Для цього виразимо сигнальну і завадову складову через середнє число носіїв заряду, подібно до (26), (27) і з урахуванням кількості накопичених кадрів:

$$\bar{s} = n\alpha U_0 \frac{T_{\text{н}} \gamma P_c}{R_T C} \exp\left(-\frac{T_{\text{н}} \gamma P_3}{R_T C}\right), \quad (31)$$

$$\bar{g} = n\alpha U_0 \frac{T_{\text{н}} \gamma P_3}{R_T C}. \quad (32)$$

Підставляючи (31) і (32) у вираз для відношення с/ш і враховуючи статистику потоку носіїв заряду на виході фотоприймача, отримуємо:

$$\varphi = \frac{P_c e^{-\frac{T_{\text{н}} \gamma P_3}{R_T C}}}{\sqrt{P_c e^{-\frac{T_{\text{н}} \gamma P_3}{R_T C}} + P_3}} \sqrt{\frac{n\alpha U_0 T_{\text{н}} \gamma}{R_T C}}. \quad (33)$$

Аналогічно кількість накопичених кадрів враховується у виразах (21), (24), що описують характеристики виявлення.

Метод підвищення динамічного діапазону АОАС РС. Суть методу зводиться до сумісного використання в АОАС процедур послаблення РС з подальшим

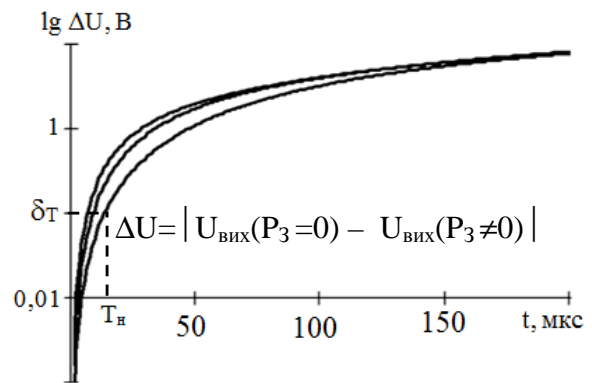


Рис.8. До вибору часу накопичення

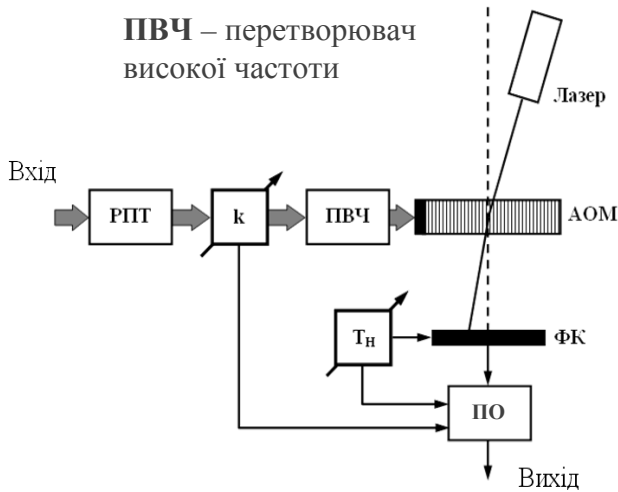


Рис.9. Функційна схема методу підвищення динамічного діапазону РС

дискретним накопиченням оптичних сигналів. Функційна схема методу наведена на рис. 9. З даної схеми видно що, сигнал на виході (на вході) радіоприймального тракту АОАС ослабляється атенуатором. Вибір коефіцієнта ослаблення здійснюється відповідно до умов (22), (25) та має вигляд:

$$K = \begin{cases} 1 & \text{при } P \leq \frac{\pi^2}{4a^2}; \\ K(\Delta F \leq \delta_K) & \text{при } P > \frac{\pi^2}{4a^2}. \end{cases} \quad (34)$$

Після акустооптичного перетворення сигнал детектується фотоприймачем з регульованим часом неперервного накопичення сигналу на фотокатоді:

$$T_H = \begin{cases} T_{\min} & \text{при } \frac{R_T C}{\gamma P_{\Pi}} \leq T_{\min}; \\ T_H^{**} (\Delta U \leq \delta_T) & \text{при } \frac{R_T C}{\gamma P_{\Pi}} > T_{\min}. \end{cases} \quad (35)$$

На рис. 10 показано залежність умовної ймовірності правильного виявлення від потужності вхідного РС. За відсутності накопичення $n=1$ і ослаблення сигналів $K=1$ можливості АОАС з реєстрації сигналів великої інтенсивності обмежені.

Застосування процедури ослаблення сигналу в радіоприймальному тракту ($K = K^*$) дозволяє забезпечити максимум умовної ймовірності правильного виявлення для РС, потужність яких значно перевищує верхню межу динамічного діапазону АОАС. Поліпшення якості виявлення вдається забезпечити шляхом дискретного накопичення сигналів. Для даного випадку при $n=2$ спостерігалось поліпшення ймовірності правильного виявлення і відношення с/ш в 1,4 рази.

Четвертий розділ містить практичні рекомендації з підвищення динамічного діапазону АОАС РС, результати експериментальних досліджень.

У ході експериментальних досліджень перевірялися параметри АОАС та оптичних сигналів, що реєструє фотоприймач при застосуванні розробленого методу. Вибір вхідних і вихідних параметрів проводився відповідно до математичної моделі (11 – 18) і описання методу (22 – 35). Статистична обробка результатів проводилась з використанням програмних пакетів Mathcad.

У ході експериментальних досліджень були отримані спостереження випадкових величин $I_{c1}, I_{c2}, \dots, I_{cm}; F_{o1}, F_{o2}, \dots, F_{om}; F_{(1,2,3)1}, F_{(1,2,3)2}, \dots, F_{(1,2,3)m};$



Рис.10. Залежність величини умовної ймовірності правильного виявлення від потужності вхідного радіосигналу

$I_1(r_1, r_2, r_3), I_2(r_1, r_2, r_3), \dots, I_m(r_1, r_2, r_3)$. Кожна вибірка спостереження містила m випадкових величин. Точкові оцінки середнього значення перелічених параметрів були знайдені як середнє арифметичне за вибіркою випадкової величини X . Оцінки ймовірнісних характеристик виявлення були отримані як відносні частоти настання події (m^*) перевищення порогу виявлення реалізацією за відсутності і наявності сигналу (F^*, D^*).

Для вимірювання односигнального динамічного діапазону блока, без використання атенюатора та УУСО, на вхід блока подавалися сигнали частотою $F=1580$ МГц у діапазоні потужностей від $P_{вх} = -80$ dB до -25 dB.

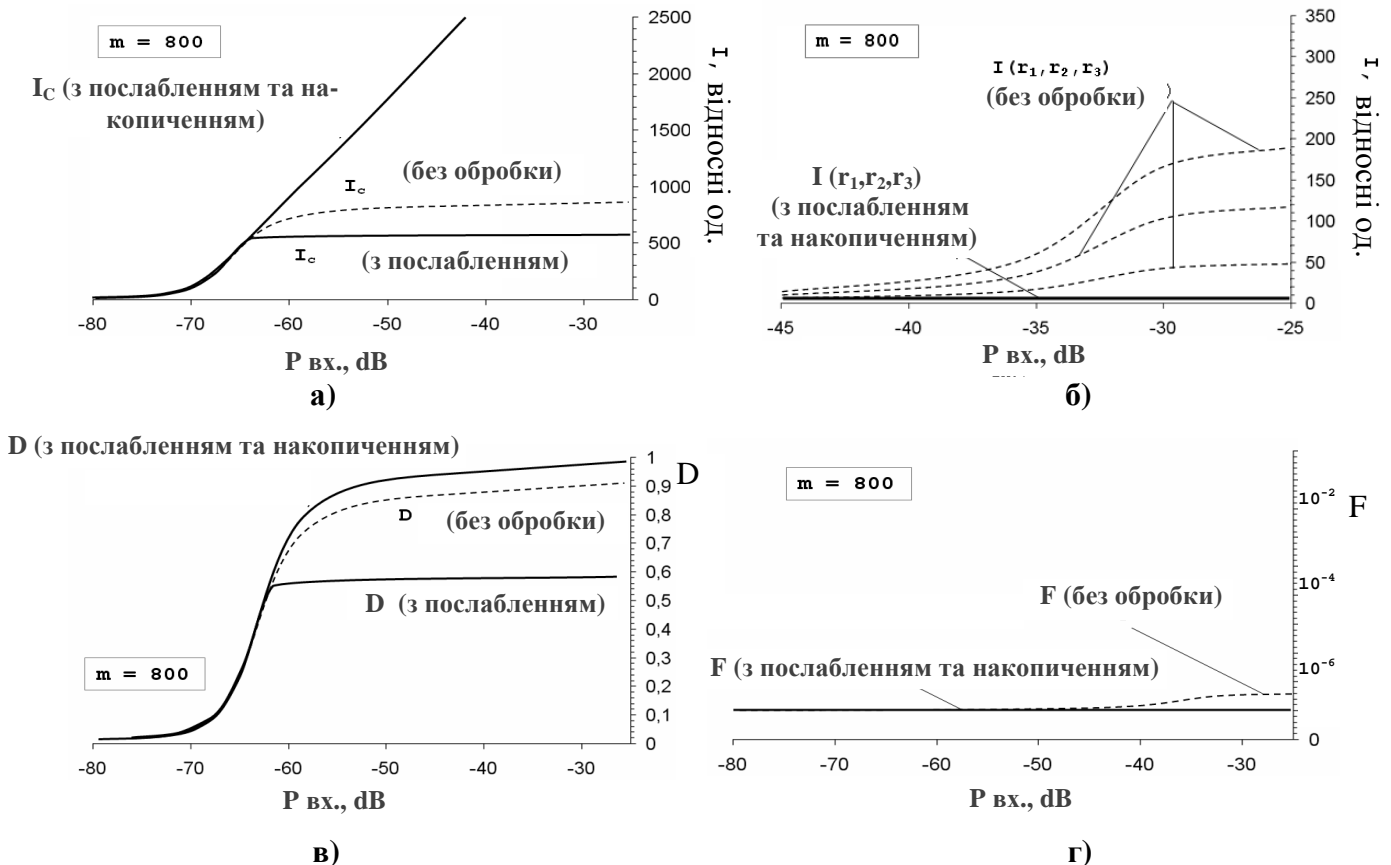


Рис. 11. Результати експериментальних досліджень.

- а) залежність інтенсивності оптичного сигналу від потужності вхідного РС;
- б) залежність інтенсивності додаткових максимумів від потужності вхідного РС;
- в) залежність умовної імовірності правильного виявлення від потужності вхідного РС;
- г) залежність умовної імовірності помилкової тривоги від потужності вхідного РС.

Основні результати експериментальних досліджень розробленого методу на рис. 11. Як видно з рис. 11. б), якщо сигнал досягає рівня $P_{вх} = -45$ dB починають спостерігатися хибні засвічення. Аналіз даної залежності показує, що динамічний діапазон пристрою обмежується нелінійною ділянкою характеристики вже при $P_{вх} = -60$ dB. Отже динамічний діапазон АОАС склав $A = 20$ dB (рис. 11.а)).

Аналіз ефективності розробленого методу оцінювався за критерієм максимуму величини динамічного діапазону та ймовірнісними характеристиками виявлення. Застосування розробленого методу дозволило збільшити верхню межу динамічного діапазону пристрою з $P_{вх} = -60$ dB до $P_{вх} = -45$ dB. Спосте-

рігався виграш за величиною умовної ймовірності правильного виявлення, який склав 10% під час застосування розробленого методу збільшення динамічного діапазону АОАС РС (рис.11.в)). Водночас застосування розробленого методу дозволило стабілізувати рівень помилкової тривоги і застосувати для виявлення сигналів відомі методи (рис. 11.г)).

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ З РОБОТИ

В дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу, пов'язану з розробкою методу збільшення динамічного діапазону АОАС РС. Задачу вирішено на основі складеної в роботі удосконаленої математичної моделі, побудованої з урахуванням процесів нелінійних переключень, що виникають при реєстрації оптичних сигналів з великим розкидом потужностей та процесів фонон-фононної взаємодії в акустооптичному модуляторі і мультиплікативного перетворення сигналів у фотоприймачі при великих амплітудах сигналу і завади.

Використання вдосконаленої математичної моделі сигналів на відміну від традиційного підходу, котрий базується на хвильовому уявленні про структуру оптичного випромінювання, дозволяє урахувати випадковий характер світлових сигналів та пояснити ефект появи помилкових максимумів у дифракційній картині, просторові координати яких на збігаються з максимумами інших порядків у дифракційній картині Бреґга. Експериментальні дослідження довели, що завдяки застосуванню розробленого методу динамічний діапазон АОАС РС можливо збільшити у десятки разів залежно від умов реєстрації РС.

За результатами дисертаційних досліджень зроблені такі висновки:

1. Характеристики виявлення РС визначаються енергією сигналу. При цьому ж АОАС вважають лінійною системою. Це твердження ґрунтується на тому, що складові частини АОАС, такі як лінзи, дзеркала, оптичні фільтри, модулятори, діафрагми тощо є лінійними, інваріантними щодо зрушень у координатній і частотній областях відповідно і характеризуються або коефіцієнтом передачі, або коефіцієнтом пропускання. Практичне використання АОАС підтверджує це положення при виявленні РС малої енергії.

У разі перевищення енергією радіосигналу певного порогу на виході АОАС формується складний сигнал, за яким неможливо однозначно визначити частоту вхідного сигналу. Це зумовлено нелінійним характером залежності передавальної функції радіотракту і оптичних елементів від потужності РС.

2. Математичне моделювання процесів акустооптичної взаємодії та фото-реєстрації показали, що збільшення потужності акустичної хвилі внаслідок нелінійної фонон-фононної взаємодії призводить до збільшення ймовірності її розпаду на хвилі з іншими хвильовими векторами. Це також призводить до зменшення умовної ймовірності правильного виявлення і збільшення ймовірності хибної тривоги. Порушення умови просторової стаціонарності сигналу і завади не дозволяє використовувати для даного випадку відомі методи синтезу параметричних алгоритмів виявлення.

При впливі на фотоприймач оптичних сигналів малої потужності процес їх реєстрації можна вважати лінійним, що дозволяє синтезувати їх алгоритми обробки з використанням принципу суперпозиції. Збільшення потужності завадової складової адитивної суміші «сигнал + завада» призводить до появи мульт-

типлікативних перетворень сигналу й описується нелінійною математичною моделлю другого порядку.

Збільшення потужності прийнятого оптичного випромінювання призводить до вимушеного зменшення часу реєстрації сигналу. При достатній потужності завади залежність величини напруги сигналу від величини часу його накопичення має явно виражений максимум, наявність якого пояснюється впливом мультиплікативної складової і може бути використана для вибору оптимального часу реєстрації сигналу.

Наявність адитивної завади великої потужності зумовлює обмеження щодо застосування методів неперервного накопичення сигналу.

3. Описаний у роботі метод відрізняється від відомих тим, що вибір параметрів послаблення та внутрішньокадрового накопичення сигналів враховує нелінійні ефекти фонон-фононної взаємодії в акустооптичному модуляторі і мультиплікативного перетворення сигналів у фотоприймачі при великих амплітудах сигналу і завади. Застосування даного методу в АОАС дозволяє розширити його динамічний діапазон як у бік збільшення потужностей прийнятих РС (за рахунок поєднання процедур послаблення та накопичення), так і у бік зменшення їхніх потужностей (за рахунок вибору оптимального часу накопичення сигналів в одиничному кадрі та їх подальшого накопичення). При цьому обмеження на застосування даного методу не залежать від потужностей РС і завад, а визначаються лише технічною досконалістю елементної бази (зокрема атенюаторів і ПЗС-матриць).

4. З результатів експериментальних досліджень видно, що збільшення інтенсивності завади, а також збільшення різниці амплітуд сигналів призводить до погіршення якості оцінок їх параметрів і, як наслідок, - до погіршення роздільної здатності АОАС РС за частотою. Водночас, застосування методів розрізнення сигналів, котрі базуються на якісних критеріях оцінки їх параметрів, на відміну від критерію Релея, дозволяє здійснювати операцію їх розрізнення без обмежень у різниці їх частот. Платою за збільшення роздільної здатності в даному випадку є втрата можливості отримання оцінок енергетичних і просторових параметрів сигналів.

Водночас вирішення задачі збільшення динамічного діапазону АОАС можливе на основі використання алгоритмів розпізнавання вихідних сигналів АОАС, які ґрунтуються на багатоальтернативній перевірці гіпотез з використанням процедури навчання. Основні особливості практичної реалізації запропонованого алгоритму полягають у наступному: змінюється кількість сигналів на етапі навчання, котрій відповідає багатошарова структура запису їхніх характеристик, у яких номер шару пов'язаний з кількістю сигналів.

5. Показано, що реалізація запропонованого методу під час модернізації існуючих АОАС дозволить суттєво розширити діапазон значень енергії вхідних РС, для яких може бути виміряна несуча частота. Отримані результати мають практичний інтерес для фахівців, котрі займаються експлуатацією радіотехнічних систем контролю радіолокаційної обстановки, і розробників АОАС.

Перспективними для проведення досліджень є напрямки, пов'язані із синтезом алгоритмів і методів оцінки параметрів сигналів АОАС в умовах їх приймання в широкому діапазоні потужностей. Такі алгоритми, в свою чергу, дозволять комплексно підійти до вирішення завдання збільшення динамічного діапазону АОАС РС.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Стрелков А.И. О работе акустооптического датчика при больших амплитудах звука / А.И. Стрелкова, Т.А. Стрелкова, С.Е. Кальной, В.В. Карнаух // Системы обработки информации. – Харьков: ХУПС. – 2006. – Вып. 2 (51). – С.173-179.
2. Стрелков А.И. Анализ влияния времени накопления оптических сигналов на динамический диапазон АОАС РС / А.И. Стрелкова, Т.А. Стрелкова, Е.И. Жилин, А.П. Лытюга, В.В. Карнаух // Системы обработки информации. – Харьков: ХУПС. – 2009. – Вып. 4 (78). – С. 2-5.
3. Стрелков А.И. Обнаружение радиосигналов большой амплитуды в акустооптическом анализаторе спектра / А.И. Стрелков, С.Е. Кальной, Е.И. Жилин, В.В. Карнаух // Системы обработки информации. – Харьков: ХУПС. – 2010. – Вып.2 (83). – С. 156-162.
4. Стрелков А.И. Применение метода дискретного накопления сигналов для повышения динамического диапазона акустооптического анализатора спектра радиосигналов / А.И. Стрелков, С.Е. Кальной, Е.И. Жилин, Т.А. Стрелкова, В.В. Карнаух // Системы управління, навігації та зв'язку. – Київ. – Вып. 2 (14). – 2010. – С. 58-66.
5. Стрелков А.И. Определение частоты радиолокационных сигналов при проявлении нелинейных эффектов в акустооптических анализаторах спектра / А.И. Стрелков, А.Е. Казаков, В.В. Карнаух // Системы обработки информации. Збірник наукових праць. – Харьков: ХВУ. – 2002. – Вып. 5(21). – С. 85-87.
6. Стрелков А.И. Распознавание входных сигналов по нелинейному отклику акустооптического спектроанализатора /А.И. Стрелков, Г.Г. Писаренко, В.В. Карнаух // Системы обработки информации. – Вып. 6(22). – 2002. – С. 357-363.
7. Стрелков А.И. Алгоритм распознавания сигналов на выходе акустооптического спектроанализатора / А.И. Стрелков, Г.Г. Писаренко, В.В. Карнаух // Моделювання та інформаційні технології. – 2004. – Вып. 26. – С. 201-205.
8. Стрелков А.И. Повышение динамического диапазона акустооптического анализатора спектра за счет применения методов сверхрелеевого разрешения радиосигналов / А.И. Стрелков, Е.И.Жилин, Д.П. Панасенко, В.В. Карнаух // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – 2009 . – Вып. 1(19). – С. 74-78.
9. Стрелков А.И. Определение частоты радиолокационных сигналов при проявлении нелинейных эффектов в акустооптических анализаторах спектра / А.И. Стрелков, А.П. Лытюга, В.В. Карнаух // 1-й Международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» – Харьков, 2002. – С. 49-50.
10. Стрелков А.И. Определение частоты входных радиосигналов по нелинейному отклику акустооптического спектроанализатора /А.И. Стрелков, Г.Г. Писаренко, В.В. Карнаух // Международная научно-техническая конференция «ТПОИ». – Харьков: ХНУРЭ, 2003. – С. 205-206.
11. Стрелков А.И. Модернизация акустооптических средств радиочастотного мониторинга на основе оптимизации методов обработки оптических сигналов / А.И. Стрелков, Е.И. Жилин, В.В. Коротков, В.В. Карнаух // Збірник

тез доповідей III Міжнародного радіоелектронного форуму «Прикладна радіоелектроніка. Стан та перспективи розвитку» – Харків: ХНУРЕ, 2008. – С. 232.

12. Стрелков А.И. Анализ путей миниатюризации акустооптических средств спектрального анализа радиосигналов / А.И. Стрелков, В.В. Коротков, В.В. Карнаух // V наукова конференція ХУПС «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 15-16 квітня 2009 року: тези доповідей. – Х.: ХУПС, 2009. – С. 165.

АНОТАЦІЯ

Карнаух В.В. Метод збільшення динамічного діапазону акустооптичного аналізатора спектра радіосигналів. – *Рукопис.*

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні і телевізійні системи. – Харківський національний університет радіоелектроніки, 2012.

В дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну задачу, пов'язану з розробкою методу збільшення динамічного діапазону АОАС РС. Задачу вирішено на основі складеної в роботі удосконаленої математичної моделі, побудованої з урахуванням процесів нелінійних перекручень, що виникають при реєстрації оптичних сигналів з великим розкидом потужностей та процесів фонон-фононної взаємодії в акустооптичному модуляторі і мультиплікативного перетворення сигналів у фотоприймачі при великих амплітудах сигналу і завади.

Використання вдосконаленої математичної моделі сигналів на відміну від традиційного підходу, котрий базується на хвильовому уявленні про структуру оптичного випромінювання, дозволяє урахувати випадковий характер світлових сигналів та пояснити ефект появи помилкових максимумів у дифракційній картині, просторові координати яких на збігаються з максимумами інших порядків у дифракційній картині Бреґга. Експериментальні дослідження довели, що завдяки застосуванню розробленого методу динамічний діапазон АОАС РС можливо збільшити у десятки разів залежно від умов реєстрації РС.

Застосування даного методу в АОАС дозволяє розширити його динамічний діапазон як у бік збільшення потужностей прийнятих РС (за рахунок поєднання процедур послаблення та накопичення), так і у бік зменшення їхніх потужностей (за рахунок вибору оптимального часу накопичення сигналів в одичному кадрі та їх подальшого накопичення). При цьому обмеження на застосування даного методу не залежать від потужностей РС і завад, а визначаються лише технічною досконалістю елементної бази (зокрема атенуаторів і ПЗС-матриць).

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблено рекомендації з технічної реалізації методу. Запропоновано структурну схему, що реалізує даний метод.

Ключові слова: акустооптичний аналізатор спектра, радіочастотний аналіз, динамічний діапазон, обробка оптичних сигналів.

АННОТАЦИЯ

Карнаух В.В. Метод увеличения динамического диапазона акустооптического анализатора спектра радиосигналов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.17 – радиотехнические и телевизионные системы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, 2012.

Диссертация посвящена теоретическим и экспериментальным вопросам разработки методов обработки оптических сигналов АОАС РС с целью повышения его динамического диапазона.

В работе получили дальнейшее развитие теоретические и практические вопросы построения и обработки сигналов в радиотехнических и оптико-электронных системах, что нашло отражение в новых научных результатах: математической модели процессов акустооптического взаимодействия и детектирования оптических сигналов АОАС в широком диапазоне интенсивностей входных РС; методе повышения динамического диапазона АОАС РС.

Показано, что в случае превышения энергией РС определенного порога на выходе АОАС формируется сложный сигнал, по которому трудно однозначно определить частоту входного радиосигнала. Это, возможно, обусловлено нелинейным характером зависимости передаточной функции радиоканала и оптических элементов от мощности принимаемого радиосигнала. Математическое моделирование процессов акустооптического взаимодействия и фоторегистрации показали, что увеличение мощности исходной акустической волны, вследствие нелинейного фонон-фононного взаимодействия, приводит к увеличению вероятности ее распада на волны с иными волновыми векторами. В совокупности с уменьшением эффективности акустооптического взаимодействия это приводит к уменьшению условной вероятности правильного обнаружения, а также – увеличению вероятности ложной тревоги.

Получила дальнейшее развитие математическая модель процессов акустооптического взаимодействия и детектирования оптических сигналов АОАС в широком диапазоне интенсивностей РС, которая, в отличие от известных, учитывает корпускулярные свойства процесса фонон-фононного взаимодействия и мультипликативное влияние помеховой составляющей регистрируемых оптических сигналов.

Усовершенствован метод повышения динамического диапазона АОАС РС, который отличается от известных тем, что выбор параметров ослабления и внутрикадрового накопления сигналов учитывает нелинейные эффекты фонон-фононного взаимодействия в акустооптическом модуляторе и мультипликативного искажения сигналов в фотоприемнике при больших амплитудах сигнала и помехи. Показано, что реализация предложенного метода при модернизации существующих АОАС позволит расширить диапазон значений энергии входных РС в десятки раз, для которых может быть измерена несущая частота.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по технической реализации метода. Предложена структурная схема, реализующая данный метод. При этом ограничения на применение данного метода не зависят от мощностей анализируемых РС и помех, а оп-

ределяются только техническим совершенством используемой элементной базы (в частности, аттенюаторов и ПЗС-матриц).

Ключевые слова: акустооптический анализатор спектра, радиочастотный анализ, динамический диапазон, обработка оптических сигналов.

ABSTRACT

Karnauh V.V. The method for increasing the dynamic range of acoustic optical spectrum analyzer of radio signals. – Manuscript.

Dissertation on competition of graduate degree of candidate of engineering sciences by specialty 05.12.17 – Radiotechnical and television systems. – Kharkiv National University of Radioelectronics, 2012.

The urgent scientific and technical problem of development of method for increasing dynamic range of acoustic optical spectrum analyzer of radio signals is solved in the dissertation work. The problem is resolved on the base of improved mathematical model which is built with subject to non-linear distortion with registration of big power spread signals and phonon-phonon interaction in acousto-optical modulator as well as signals multiplicative transformation in photo detector with large-scale amplitudes of signal and interference.

As opposed to traditional approach based on wave description of optical irradiation using of improved model will allowing taking into consideration random character of optical signals and describe faulty diffraction peaks (non coincidence with Bragg diffraction pattern) appearance. Experimental results shows the implementation of developed method it is possible to increase the dynamic range of acoustic optical spectrum analyzer of radio signals tenfold in dependence of radio signals registration conditions.

Implementation of the method will allow increasing dynamic range as to higher power of sensed signal (by means of combining of attenuation and accumulation) as to smaller power of signals (by the use of optimal exposure time within a single shot with following interframe accumulation). Limitations of the method implementation are irrespective from power of radio signals and interferences and become formed by perfection of elements (i.e. attenuators and CCD detectors).

As a result of theoretical and experimental analysis technical guidance for developed method implementation are worked out. The propositions on technical realization of the method are introduced.

Keywords: acoustic optical spectrum analyzer, radio frequency analysis, dynamic range, optical signals processing.

Підп. до друку 08.11.112. Формат 60x841/16. Спосіб друку – ризографія.
Умов. друк. арк. 1,2. Облік. вид. арк. 1,0. Тираж 100 прим.
Зам. № 2-1103. Ціна договірна.

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
Харків, просп. Леніна, 14