

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
Кафедра Радіотехніки та телекомунікації

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
«Теорія і проектування радіотехнічних систем»
Для студентів спеціальності
172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
всіх форм навчання

Лабораторна робота
«Виявлювач радіолокаційних сигналів
зі стабілізацією рівня хибних тривог»

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія і проектування радіотехнічних систем» для студентів спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка» всіх форм навчання. Лабораторна робота «Виявлювач радіолокаційних сигналів зі стабілізацією рівня хибних тривог» /Укл.: М.П. Чорнобородов, Д.М. Піза. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 26 с.

Укладач: М.П. Чорнобородов, доцент, к.т.н.,
Д.М. Піза, професор, д.т.н.,

Рецензент: С.В. Морщавка, доцент, к.т.н.

Відповідальний
за випуск: Є.І. Колеснікова, зав. лаб.

Затверджено:
на засіданні кафедри
радіотехніки та телекомунікацій
Протокол № 4 від 15.02.2024 р.;

Рекомендовано до видання НМК
факультету інформаційної без-
пеки та електронних комунікацій
Протокол № 5 від 15.02.2024 р.

ЗМІСТ

1	СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	4
2	ОПИС УСТАНОВКИ.....	17
3	ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ.....	20
4	ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ.....	21
5	ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	21
6	ЗМІСТ ЗВІТУ.....	25
7	КОНТРОЛНІ ЗАПИТАННЯ.....	25
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	26

ВИЯВЛЮВАЧ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ ЗІ СТАБІЛІЗАЦІЄЮ РІВНЯ ХИБНИХ ТРИВОГ

Мета роботи: вивчити принципи побудови та структуру некогерентних виявлювачів. Ознайомитися з основними класами виявлювачів, які використовуються в умовах параметричної та непараметричної невизначеності інформації відносно сигналів та завад. Оцінити якість стабілізації рівня помилкових тривог цифровими виявлювачами різних класів в умовах нестаціонарності потужності завад і в умовах нерелеєвського розподілу щільності імовірності амплітуд на вході. Проаналізувати вплив цілей, що заважають, та нестаціонарності шуму в межах вибірки, яка використовується для розрахунку параметрів завади.

1 СТИСЛІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В радіотехнічних системах отримання і передачі інформації однією з найбільш складних проблем є виявлення сигналу на фоні завад. В радіолокаційних системах ця проблема набуває особливої актуальності тому, що більшість сучасних РЛС працює в умовах інтенсивних шумів природного та штучного походження, відбиття від місцевих предметів, гідрометеорів тощо.

В деяких типах РЛС функцію знаходження корисних сигналів виконує людина-оператор. Спостерегаючи відображений будь-яким із відомих способів сигнал на виході приймача РЛС, оператор відмічає цілі по рискам, або конфігурації зображення на екрані індикатора у випадку відсутності цілей. Але сучасні РЛС працюють в таких складних сигнально-завадових умовах, що оператор не в змозі виявити велику кількість цілей і забезпечити їх впевнене супроводження. Для автоматизації процесу виявлення цілей в радіолокації використовується широкий клас радіотехнічних пристроїв – так званих виявлювачів.

Виявлювач – це пристрій для прийняття рішень в ситуації, коли на його вхід з радіолокаційного приймача надходить суміш сигналу з шумом після відповідної обробки. В типовій радіолокаційній системі інформація на вхід виявлювача надходить з виходу квадратичного

детектора обвідної або з виходу лінійного детектора обвідної, а вихідна інформація відображається на екрані індикатора або використовується в ЕОМ супроводження.

Структура виявлювача для конкретної радіолокаційної системи залежить від багатьох факторів. Серед найбільш важливих – кількість станів сигналу, апіорні імовірності цих станів, вартості, що приписуються різним типам вірних та невірних рішень, а також обмеження, які накладаються на процес отримання інформації радіолокаційною системою та сигнально-завадовими умовами.

Теорію статистичного синтезу оптимальних з тієї чи іншої точки зору виявлювачів добре розроблено і викладено в працях [1,2,3] та ін.

Процедури виявлення, що базуються на критерії мінімізації очікуваної вартості, звичайно пов'язані з розрахунком відношення правдоподібності. Відношення правдоподібності також часто зустрічається в оптимальних процедурах, призначених для простіших задач виявлення, в яких вартості помилок та апіорні імовірності або не відомі, або не підходять до конкретної ситуації.

Відношення правдоподібності записується у вигляді:

$$\lambda_n = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) / f_0(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – n результатів спостереження, що використовуються в процесі виявлення;

f_1, f_0 – суміші щільності імовірності наявності сигналу з шумом сумісно і тільки шуму, відповідно;

n – число імпульсів, що зондують ціль, які використовуються в процесі виявлення.

Якщо спостереження статистично незалежні, то

$$\lambda_n = f_1(x_1) \cdot f_1(x_2) \cdot \dots \cdot f_1(x_n) / f_0(x_1) \cdot f_0(x_2) \cdot \dots \cdot f_0(x_n).$$

Практична реалізація виявлювача, який безпосередньо розраховує відношення правдоподібності, викликає значні технічні складнощі.

Ось чому, з точки зору синтезу структурної схеми виявлювача відношення правдоподібності краще записувати в логарифмічній

формі. В багатьох задачах, пов'язаних з знаходженням сигналу, відношення правдоподібності можна виразити (тоді наближено) у вигляді логарифму:

$$\ln \lambda_n = \sum_{i=1}^n \ln \frac{f_1(x_i)}{f_0(x_i)},$$

$$\ln \lambda_n = k_1 + k_2 \cdot Z_n,$$

$$Z_n = \sum_{i=1}^n x_i \text{ або } Z_n = \sum_{i=1}^n x_i^2,$$

де k_1, k_2 - сталі величини.

У таких випадках замість обчислення λ_n або $\ln(\lambda_n)$ у виявлювачах розраховується значення Z_n і порівнюється з деякою сталою величиною k . Якщо виконується умова $Z_n > k$, то приймається рішення, що сигнал є; якщо ж $Z_n < k$, то вважають, що сигналу немає.

Структуру описаного виявлювача наведено на рис. 1.1.

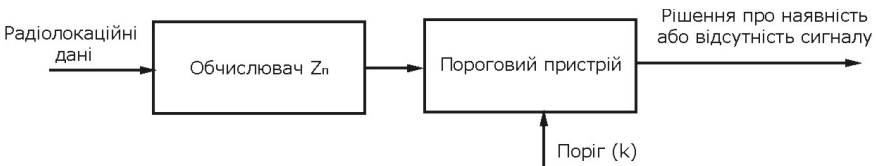


Рисунок 1.1 – Структура виявлювача

У більшості сучасних РЛС використовується цифрова обробка не тільки вторинної, але й первинної радіолокаційної інформації. Цифрова обробка радіолокаційної інформації забезпечує цілий ряд суттєвих переваг таких як: більший динамічний діапазон, стабільність обробки, широкі можливості адаптації до складної заводової обстановки та інші.

При застосуванні цифрової обробки аналоговий сигнал перетворюється в цифровий, що містить 2^m рівнів, де m – число двійчних розрядів. Як показано в [2], для того, щоб виявлювач був

ефективним, необов'язково щоб m було великим. Для більшості виявлювачів $1 < m < 3$. Оскільки при $m = 2$ лише незначно знижується якість виявлення, виявлювачі з бінарним квантуванням сигналів знайшли широке використання в бортових та мобільних РЛС.

Структурну схему найпростішого бінарного виявлювача наведено на рис. 1.2. Виявлювач містить однорозрядний аналого-цифровий перетворювач (квантувач), рівноважний або ваговий накопичувач і вирішувальний (пороговий) пристрій. Характеристики бінарного виявлювача залежать від величини та співвідношення порогу квантування і порогу вирішувального пристрою.

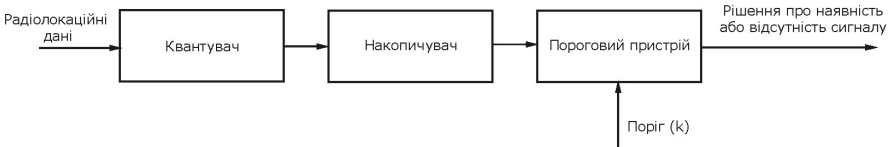


Рисунок 1.2 – Структура бінарного виявлювача

Вибір оптимальної комбінації порогу квантування і порогу вирішувального пристрою здійснюється у виявлювачі за тим чи іншим критерієм оптимальності. Критерії вибору порогів можна розбити на чотири групи:

- а) інформаційні критерії, які мінімізують втрати інформації при квантуванні;
- б) критерії, які максимізують відношення сигнал/шум;
- в) критерії відносної асимптотичної ефективності;
- г) критерії, які мінімізують середній ризик або пороговий сигнал при виявленні.

Більш детально з характеристиками означених критеріїв можна ознайомитись в [4]. Приклад синтезу бінарного виявлювача наведено в [2].

Задачі синтезу оптимальних виявлювачів розв'язуються в припущенні апріорі відомої завадової ситуації та при заданих енергетичних і статистичних характеристиках корисних сигналів. Отримані при цьому оптимальні алгоритми мають найкращі характеристики лише для тих умов роботи, які передбачались при синтезі. Зміна завадової ситуації або відхилення від передбачених при

синтезі характеристик сигналів приводить до різкого погіршення ефективності алгоритмів або, навіть, до втрати працездатності.

Практичні ситуації виявлення радіолокаційних сигналів характеризуються більшою або меншою мірою невизначеності енергетичних і статистичних характеристик сигналу і завад. Крім того, ці характеристики змінюються у часі. Так, в реальних умовах зміна інтенсивності завад може досягати десятків децибел. Ось чому особливо цікавим є синтез алгоритмів, які мають досить стабільні показники якості при зміні умов роботи, тобто стійкіших алгоритмів. Звичайно ставиться задача по забезпеченню стійкості не всіх, а тільки найбільш важливих показників якості або, навіть одного з них – імовірності хибного виявлення $P_{хв}$. В останньому випадку кажуть про алгоритми стабілізації хибних тривог.

У залежності від наявної апріорної інформації про сигнали і завади розрізняють параметричну і непараметричну невизначеність. У першому випадку вважаються відомими щільність імовірності вибірок, як при наявності, так і при відсутності корисного сигналу, а невідомими - лише деякі параметри цих функцій.

Зміна зовнішніх умов роботи являє собою зміну характеристик завади (математичного сподівання, дисперсії, кореляційних моментів і т. ін.).

Стійкі алгоритми виявлення, які забезпечують стабілізацію імовірності хибного виявлення, в такому випадку будуються як адаптивні і забезпечують в собі отримання оцінку невідомих характеристик завад і використання цих оцінок для нормування вхідного сигналу або керування порогом виявлення.

У другому випадку, може бути невідомим вид функції розподілу сигналів і завад, як при наявності, так і при відсутності корисного сигналу. У цьому випадку синтез стійких алгоритмів виявлення виконується на базі методів перевірки непараметричних статистичних гіпотез. Отримані непараметричні алгоритми виявлення сигналів мають незалежну (інваріантну) імовірність хибного виявлення від розподілу обвідної завади. Неодмінною умовою інваріантності непараметричних алгоритмів виявлення є статистична незалежність вибірових значень вхідних сигналів. При наявності кореляційних вибірок вхідних сигналів користуються змішаними алгоритмами з параметричними і непараметричними статистиками [5].

В останній час введено поняття робастних алгоритмів обробки

сигналів [6]. Вони беруть до уваги апіорну інформацію про можливу заводську ситуацію, але допускають її хибність (на відміну від методів параметричної статистики). Тим самим робастні методи займають місце між параметричними (повна довіра до апіорної інформації) і непараметричними (майже повне ігнорування апіорної інформації) методами. За своїми характеристиками якості робастні алгоритми обробки інформації незначно поступаються чисто параметричним процедурам при відомих параметрах заводів і забезпечують кращі характеристики виявлення ніж інваріантні при наявності деякої інформації про розподіл завади.

Звичайно в пристроях, які реалізують алгоритми стабілізації рівня хибних тривог – СРХТ виявлювачах, використовують метод одновимірного або двовимірного "ковзаючого вікна". Одновимірні вікна формують в частотній (по швидкості) або часовій (по відстані) областях, або по циклам огляду ("вікнам"). Двовимірні "вікна" формують в площинах відстань-швидкість, відстань-азимут.

Формування порогу виявлення в виявлювачах з стабілізацією рівнів хибних тривог (виявлювачів з СРХТ) полягає в оцінці потужності перешкоди Z і в домноженні отриманої оцінки на пороговий коефіцієнт T , пов'язаний з заданою ймовірністю хибної тривоги і довжиною "вікна". Правило розрізнення альтернативних гіпотез відсутності (H_0) або наявності (H_1) сигналу має вигляд:

$$H_0 : Y \geq Z \cdot T,$$

$$H_1 : Y < Z \cdot T,$$

де Y - вирішувальна статистика – елемент вибірки в центральному елементі "ковзаючого вікна".

Способи формування вирішувальних правил визначаються апостеріорною інформацією про завади. Широко розповсюджені такі моделі заводів в межах "вікна":

- а) модель 1 – однорідна і стаціонарна перешкода в межах "вікна";
- б) модель 2 – неоднорідна по потужності перешкода в межах вікна";
- в) модель 3 – однорідна перешкода із цілями, які заважають, у "вікні".

В залежності від моделі перешкоди можна виділити 4 класи виявлювачів:

- а) осередненням потужності по елементах "вікна" (ОС-СРХТ);

- б) з використанням різної логіки на елементах "вікна";
- в) на основі порядкової статистики (ПС-СРХТ);
- г) адаптивні до параметрів нерелеєвських розподілів амплітуд завад.

Перший клас виявлювачів з СРХТ – орієнтований на використання моделі 1 завади, де невідомими вважаються параметри апріорно заданого, як правило, гаусового розподілу. Стабілізація рівня хибної тривоги зводиться до обчислення оцінки максимальної правдоподібності потужності завади і встановленню відповідного порогу виявлення. Структурна схема такого виявлювача з СРХТ (рис. 1.3) має лінійний або квадратичний детектор (Д) на вході пристрою; лінію затримки (ЛЗ), яка реалізує "змінне вікно", осереднюючий суматор, на виході якого формується сигнал, пропорційний до оцінки потужності шуму, пристрій для обчислення відношення сигнал/завада (С/З) та пороговий пристрій (ПП).

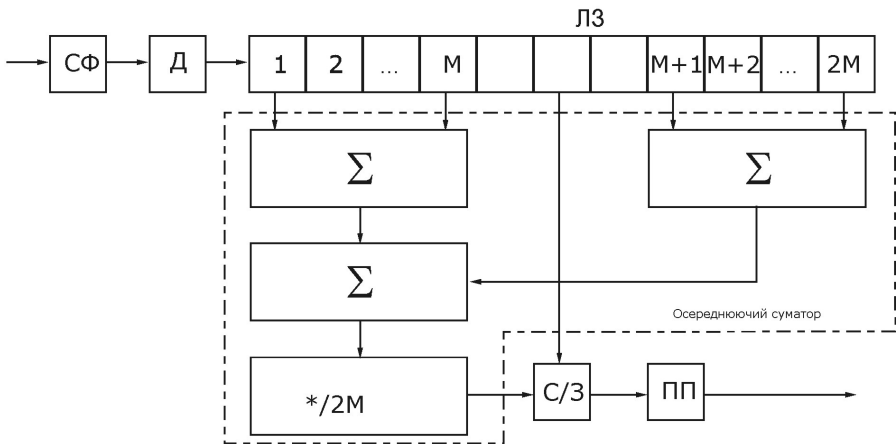


Рисунок 1.3 – Структура ОС-СРХТ виявлювача

Зв'язок між дисперсією шуму на виході радіолокаційного приймача σ_{np}^2 та дисперсією шуму на виході детектора Д σ_d^2 визначається наступним виразом:

$$\sigma_{np}^2 = 0.429\sigma_d^2.$$

При цьому, математичне сподівання m , обчислене

усереднюючим суматором, визначається виразом:

$$m = \sigma_{np} \sqrt{\frac{\pi}{2}},$$

тобто залежить від середньоквадратичного значення шуму на виході радіолокаційного приймача.

Це співвідношення дозволяє, скориставшись викладеною в [7] методикою, встановити рівень порог T у відповідності з потрібною імовірністю хибних тривог. Для порівняння виявлювачів СРХТ між собою звичайно використовують втрати у відношенні сигнал/шум у порівнянні з асимптотично оптимальним (довжина вікна $N = 2M \rightarrow \infty$) виявлювачем з СРХТ, який реалізує оцінку максимальної правдоподібності невідомого параметра розподілу.

Втрати виявлювачів СРХТ залежать від довжини "вікна" N , імовірності хибної тривоги ($F = P_{xe}$) і вірного виявлення (D). На рис. 1.4 наведено втрати ОС-СРХТ - виявлювача для релеєвського розподілу амплітуд перешкоди при фіксованому значенні $D = 0,5$. Задаючись імовірностями F , D та допустимим рівнем втрат, можна вибрати необхідну довжину "ковзаючого вікна".

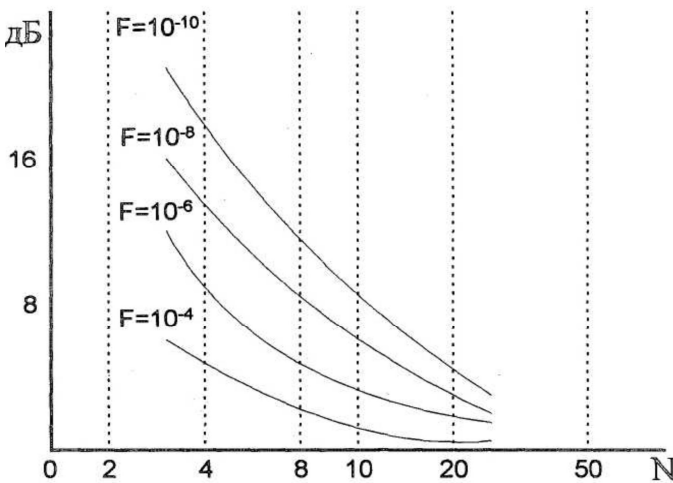


Рисунок 1.4 – Втрати МЗ-ОС-СРХТ-виявлювача

Однак модель 1 завади, для якої розроблено виявлювачі ОС-СРХТ часто неадекватна реальній пасивній заваді. Відомо, що зміна інтенсивності дощу в межах 1,8 км від 4 мм/годину до 16 мм/годину змінює потужність завади на 60 дБ. Одночасно із зміною параметрів розподілу ймовірності завади може змінюватись і вид функції цього розподілу. При цьому вибірка завади в межах "вікна" стає не тільки нестационарною відносно параметрів розподілу, але й неоднорідною, коли різні елементи вибірки можуть належати до різних розподілів. При такій роботі виявлювачів ОС-СРХТ мають недопустимо великі втрати і не забезпечують постійного рівня хибних тривог. Ось чому для роботи з моделями завад 2,3 були розроблені виявлювачі СРХТ, які відносяться до другого і третього класу.

Серед виявлювачів СРХТ другого класу (з логікою на елементах "вікна") можна виділити дві групи. Першу групу складають виявлювачі СРХТ з вибором "більшого з" (БЗ), "меншого з" (МЗ), а також виявлювачі СРХТ на змішаних логіках БЗ-МЗ-ОС.

Виявлювачі БЗ-СРХТ реалізують оцінку потужності завади у вигляді $Z = \max\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, де $\{x_i\}_{i=1}^n$ - вибірки завади у "вікні", причому БЗ-СРХТ виявлювачі є інваріантними до розподілу перешкоди. Виявлювачі БЗ-СРХТ мають втрати у відношенні сигнал/шум на 2.2 дБ більші, ніж виявлювачі ОС-СРХТ при використанні моделі завади 1. Крім того, в виявлювачах БЗ-СРХТ спостерігається ефект маскування цілі краєм перешкоди (модель 2) і цілями, що заважають (модель 3). Ось чому був запропонований виявлювач БЗ-ОС-СРХТ (рис. 1.5) з оцінкою потужності перешкоди у вигляді:

$$Z = \max\left\{\left(\frac{1}{M}\right)\sum_{i=1}^M x_i; \frac{1}{M}\sum_{i=M+1}^N x_i\right\}, N = 2M.$$

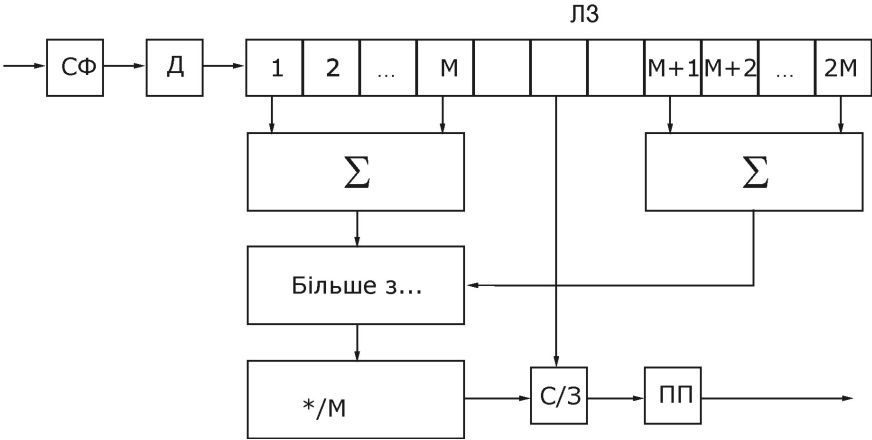


Рисунок 1.5 – Структура МЗ-ОС-СРХТ -виявлювача

Такий процесор поступається виявлювачу ОС-СРХТ за втратами на 0.1...0.3 дБ при використанні моделі 1 завади, але стабілізує заданий рівень хибної тривоги при використанні моделей 2,3 завади. Ефект маскування цілі краєм завади і цілями, що заважають, БЗ-ОС-СРХТ виявлювачі не усувають.

Послабити ефект маскування цілі дозволяють виявлювачі з СРХТ на змішаних МІ-ОС логіках (рис. 1.6). Оцінка потужності перешкоди в виявлювачах МЗ-ОС-СРХТ має вигляд

$$Z = \min \left\{ \left(\frac{1}{M} \right) \sum_{i=1}^M x_i; \frac{1}{M} \sum_{i=M+1}^N x_i \right\}, N = 2M.$$

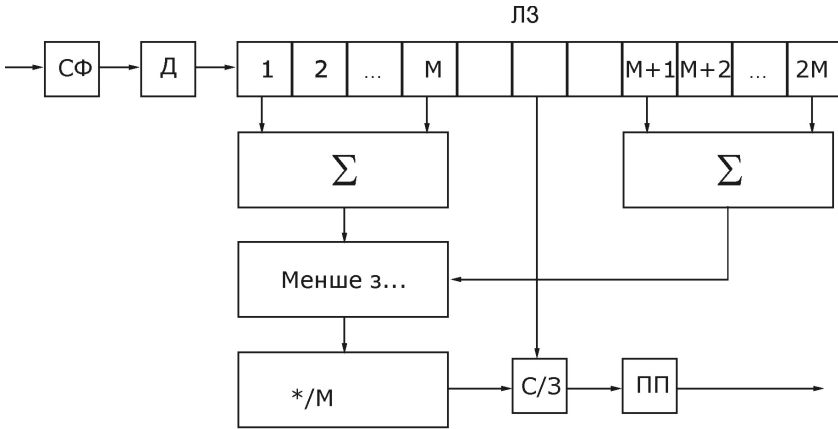


Рисунок 1.6 – Структура МЗ-ОС-СРХТ -виявлювача

Означений виявлювач з СРХТ виключає ефект маскуванню цілі для моделей 2 та 3, коли цілі, що заважають, зосереджені в одному з "напіввікон". Це пов'язано з МЗ-логікою, яка усуває цілі, що заважають, і край завади як аномальні викиди.

Однак, якщо цілі, що заважають, з'являться одночасно в обох "напіввікнах", то ефект маскуванню корисного сигналу не усувається. Послабити ефект маскуванню корисного сигналу деякими з цілей, що заважають, дозволяють виявлювачі, які використовують порядкову статистику.

Головна ідея виявлювачів СРХТ на основі порядкової статистики (ПС-СРХТ виявлювачів) полягає у формуванні порядкової статистики на елементах "вікна" і у виборі у якості оцінки потужності шуму деякого процентилля $x^{(k)}$, $1 < k < N$ (рис. 1.7). Ранг вибирають із компромісу між можливістю забезпечення заданого рівня хибних тривог, втратами у відношенні сигнал/шум і ефектом маскуванню цілі в аналізованому елементі краєм завади і цілями, що заважають.

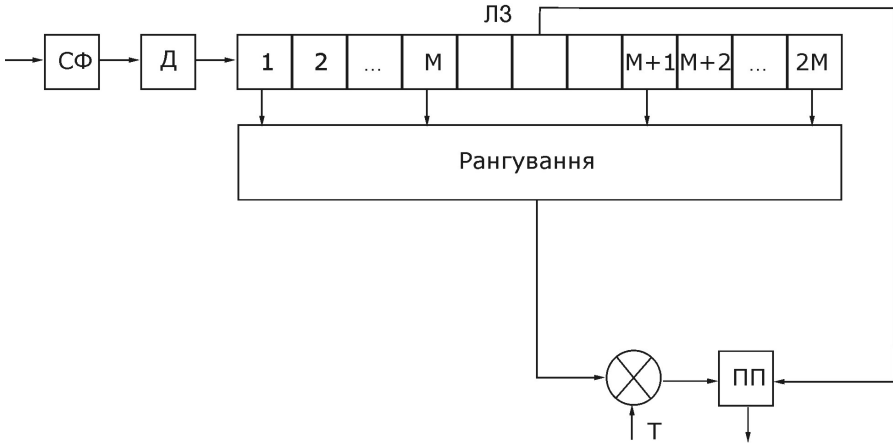


Рисунок 1.7 – Структура ПС-СРХТ виявлювача

Виявлювачі ПС-СРХТ стабілізують рівень хибних тривог для всіх моделей (1, 2, 3) завод і мають втрати у відношенні сигнал/шум, що лежать між значеннями втрат в виявлювачах ОС-СРХТ і БЗ-СРХТ при однаковій довжині вікна.

При побудові четвертого класу виявлювачів з СРХТ невідомим є вигляд щільності розподілу вибірок вхідного сигналу як при відсутності, так і при наявності корисного сигналу.

В цьому випадку для розв'язку задачі виявлення застосовують непараметричні методи теорії статистичних рівнянь. Це дозволяє синтезувати алгоритми виявлення сигналів з постійною імовірністю хибних тривог в широкому колі невідомих розподілів вхідних сигналів.

В непараметричних цифрових виявлювачах використовуються не самі значення вибірових вхідних сигналів, а їх взаємна упорядкованість, що характеризується вектором "знаків" і "рангів". Ось чому першою операцією непараметричних алгоритмів є перетворення послідовності вхідних сигналів $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ в послідовність знаків $\{sign(x_1), sign(x_2), \dots, sign(x_n)\}$ або рангів $\{rang(x_1), rang(x_2), \dots, rang(x_n)\}$. При цьому необхідною умовою є статистична незалежність елементів вибірки вхідних сигналів.

В знакових непараметричних виявлювачах при двополярному вхідному сигналі, вибірка знаків $\{sign(x_1), sign(x_2), \dots, sign(x_n)\}$

формується за правилом $sign(x_i) = x_i / |x_i|$. Елементи цієї вибірки мають лише два можливих значення +1, якщо $x_i > 0$ та (-1), якщо $x_i < 0$. В області стаціонарної завади з симетричним відносно нуля розподілом кількість позитивних і негативних знаків в незалежній вибірці завади (при $N \rightarrow \infty$) буде однаковою.

Якщо з'являється позитивний сигнал, то імовірність позитивних знаків у вибірці стає більше, що дозволяє виявити сигнал. Якість знакових непараметричних алгоритмів характеризується за допомогою коефіцієнта асимптотичної відносної ефективності. Показано, що для сигналу без флуктуації коефіцієнт асимптотичної відносної ефективності знакового алгоритму при нормальному розподілі завади дорівнює $2/\pi$ (або 0,65), тобто використання знакового алгоритму програє оптимальному алгоритму на 35%. Однак, при інших розподілах завади ефективність знакового алгоритму може бути більше оптимальної.

Ранговими непараметричними є виявлювачі, в яких для прийняття рішень використовується рангова інформація, що міститься у вибірковій послідовності вхідних сигналів. При цьому, як і в знакових виявлювачах, неодмінною є незалежність елементів вибірки.

На практиці радіолокаційного виявлення, коли кількість елементів (каналів) по відстані, в яких сигнал відсутній, набагато більше числа сигнальних елементів, для ранжирування використовується спосіб контрасту. Кожний з відліків $x_i \{i = 1, 2, \dots, N\}$, що ранжуються (які приймаються за сигнальні), порівнюється з сукупністю опорних (шумових) відліків $x_{i1}^m, x_{i2}^m, \dots, x_{im}^m$ взятих з суміжних ділянок, які різняться по відстані. В результаті ранг відліку визначається формулою:

$$r_i = \text{rang}(x_i^c) = \sum_{j=1}^m x_{ij}$$

$$\text{де } x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } x_i^c - x_{ij}^m > 0 \\ 0, \text{ якщо } x_i^c - x_{ij}^m \leq 0 \end{cases}$$

Подальша обробка – накопичування деякої рангової статистики і порівняння її значення з порогом:

$$\sum_{i=1}^N Z(r_i) \geq c, i = 1, 2, \dots, N,$$

де $Z(r_i)$ – відома функція від рангів;

c – поріг, що обирається за допустимою ймовірністю хибного виявлення.

Найпростішою є рангова статистика Вілкоксона, яка визначається сумою рангів. За критерієм Вілкоксона рішення про виявлення приймається у відповідності з алгоритмом:

$$\sum_{i=1}^N r_i \geq c.$$

Відносна ефективність рангових алгоритмів більша знакових і для сигналів без флуктуації при нормальному розподілу завад оцінюється значенням, $3/\pi$ (або 0,995). Таким чином, рангові алгоритми, практично так же ефективні, як і оптимальні. До недоліків рангового виявлювача слід віднести необхідність використання вікна з великою кількістю елементів або значного часу накопичення рангової статистики для отримання малої ймовірності хибних тривог.

Необхідно також відмітити специфічну особливість цифрових виявлювачів. Вона полягає в збільшенні ймовірності хибних тривог при виявленні слабких сигналів. Це обумовлено впливом кінцевої розрядності процесора обробки інформації цифрового виявлювача. Звичайно розрядність процесора вибирається шляхом компромісу між складністю технічної реалізації і прийнятним рівнем втрат. В більшості практичних випадків, втрати, обумовлені кінцевою розрядністю, не перевищують часток децибела.

2 ОПИС УСТАНОВКИ

Лабораторна установка являє собою компактний пульт, в якому міститься апаратура, що реалізує п'ять типів виявлювачів (пристрій СРХТ), цифровий формувач вхідних сигналів, пристрій індикації кількості перевищень порогів виявлення, апаратуру формування внутрішньої синхронізації цифрових пристроїв і зовнішньої

синхронизації осцилографа, органи керування, які розташовані на передній панелі пульта. В склад пульта входять також, вторинні джерела живлення, які необхідні для цифрових і аналогових мікросхем. Живлення пульта, відбувається від трифазної мережі 220В, 400 Гц. Структурну схему блока показано на рис. 2.1.

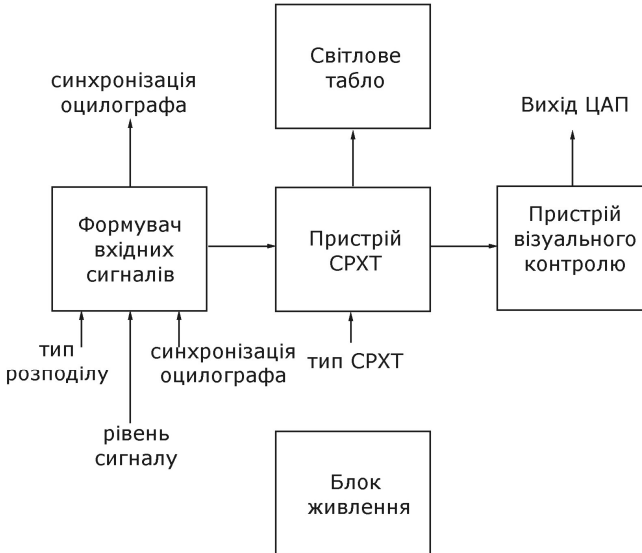


Рисунок 2.1 – Структурна схема стенду

Апаратура пульта реалізує такі типи виявлювачів:

– виявлювач з осередненням потужності по елементам "вікна". "Вікно" містить 16 елементів до центрального елемента, що аналізується, і 16 елементів після нього (рис. 2.2);

– виявлювач з використанням МЗ (ОС СРХТ) логіки на елементах вікна (рис. 2.3);

– виявлювач на основі порядкової статистики. В ньому використовуються чотири часткові суми ($\sum_1, \sum_2, \sum_3, \sum_4$) з восьми елементів "вікна". Елемент, що аналізується – X_{17} , помножений на поріг, порівнюється з кожною з часткових сум в компараторах К, після чого результат порівняння обробляється критерійною обробкою за критерієм 2/4 (рис. 2.4);

– адаптивний до нерелеєвських розподілів амплітуд завад

ранговий виявлювач (рис. 2.5); в ньому визначається ранг елемента X_{17} серед 32 елементів "вікна". Обчислений ранг елемента X_{17} порівнюється з пороговим значенням C ;

– виявлювач, оптимальний для релеєвського розподілу щільностей ймовірності амплітуд завади з дисперсією $\sigma^2 = 10$.

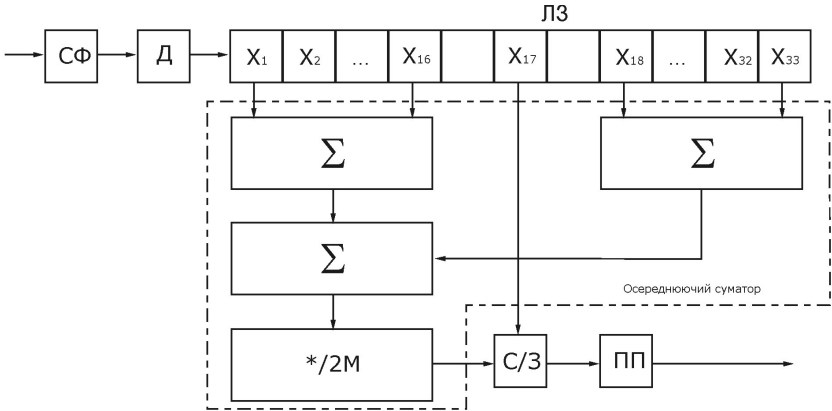


Рисунок 2.2 – Схема ОС – СРХТ виявлювача, що досліджується

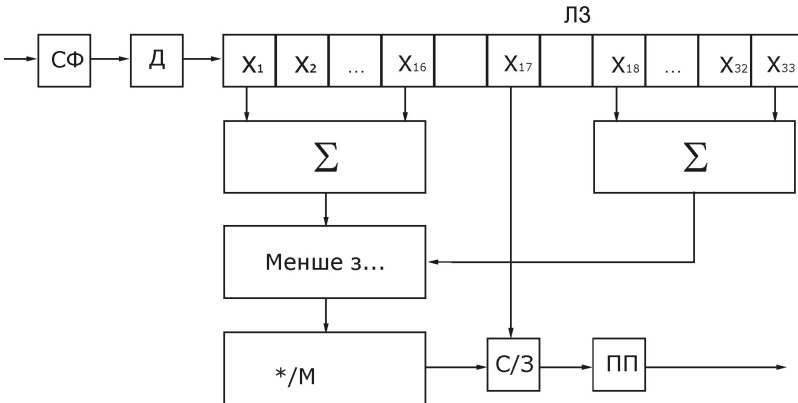


Рисунок 2.3 – Схема МЗ – ОС – СРХТ виявлювача, що досліджується

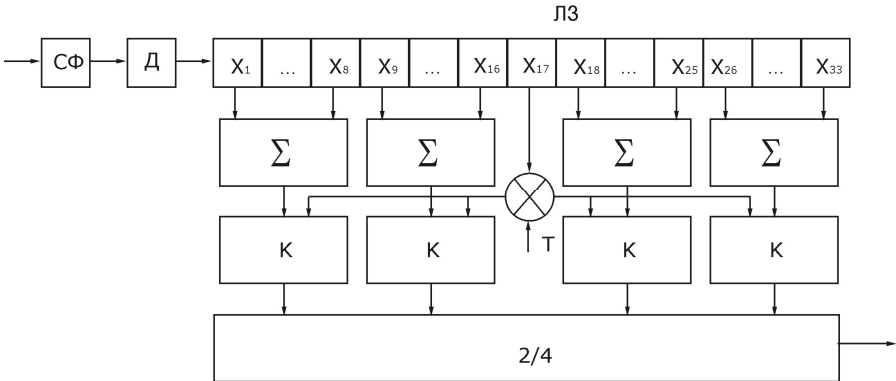


Рисунок 2.4 – Схема ПС-СРХТ виявлювача з критерійною обробкою 2/4

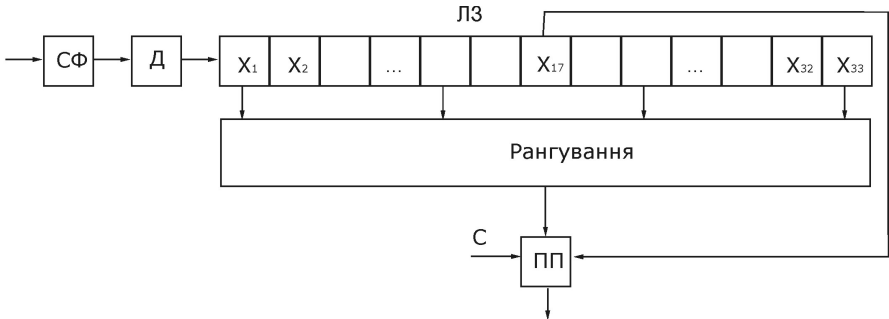


Рисунок 2.5 – Схема ПС-СРХТ виявлювача, що досліджується

3 ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ

Пульт лабораторної установки підключений до мережі 220В, 400 Гц. Корпус пульта повинен бути надійно заземлений. Забороняється чіпати та від'єднувати роз'єм на задній стінці пульта. При необхідності слід звернутися до викладача.

4 ПІДГОТОВКА ДО РОБОТИ

Зберіть робоче місце згідно з рис. 13. Входи осцилографа з'єднайте з гніздом "Вих. ЦАП" пульта. Вхід осцилографа "синхронізація" з'єднайте з гніздом "синхр. осцил." пульта. Перемикач "Время/дел" встановіть у положення "1мс". Перемикач "Вольт/дел" встановіть у положення 2.

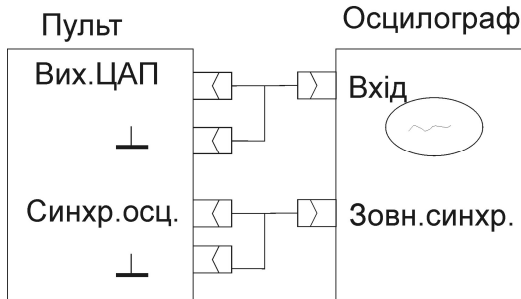


Рисунок 4.1 – Робоче місце

Тумблер "Вкл. откл" пульта встановіть в положення "Вкл". Впевніться, що світлодіод 220 В 400 Гц світиться.

5 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

5.1 Встановіть перемикачі "Тип распределения", "Уровень сигнала" і "Тип СУЛГ" в положення 1. При цьому вхідний шум має релєвський розподіл з дисперсією $\sigma^2 = 10$, а виявлювач має постійний поріг, значення якого обрано оптимальним для відомої послідовності з 4096 вибірок псевдовипадкових чисел.

Зчитайте з табло "Количество превышений" кількість виявлених хибних відміток. Розрахуйте ймовірність хибних триггов за формулою

$$P_{xm} = K / 4096,$$

де K – кількість перевищень, що зображені на табло.

5.2 Встановіть перемикач "Уровень сигнала" в положення 2, що відповідає вхідному шуму з $\sigma^2 = 20$. Зчитайте показання табло і

визначте ймовірність хибних тривог.

5.3 Встановіть перемикач "Уровень сигнала" в положення 3, що відповідає шуму з $\sigma^2 = 40$. Зчитайте показання табло і визначте ймовірність хибних тривог.

5.4 Встановіть перемикач "Уровень сигнала" в положення 4, що відповідає вхідному шуму, з $\sigma^2 = 80$. Зчитайте показання табло і визначте ймовірність хибних тривог.

5.5 Встановіть перемикач "Тип СУЛТ" в положення 2. При цьому виявлення відбувається з осередненням потужності шуму по 16 елементах "напіввікна" до елемента, що аналізується, і 16 елементах після нього.

Послідовно встановлюючи перемикач "Уровень сигнала" в положення 1...4, визначте ймовірності хибних тривог при зміні рівня вхідних шумів аналогічно пп. 1...4.

5.6 Встановіть перемикач "Тип СУЛТ" в положення 3. При цьому виявлення відбувається з використанням МЗ-логіки і двох "напіввікон" по 16 елементів.

Послідовно встановлюючи перемикач "Уровень сигнала" в положення 1...4, визначте ймовірність хибних тривог при зміні рівня вхідного впливу аналогічно пп. 1...4.

5.7 Встановіть перемикач "Тип СУЛТ" в положення 4. При цьому виявлення відбувається на основі порядкової статистики.

Послідовно встановлюючи перемикач "Уровень сигнала" в положення 1...4, визначте ймовірності хибних тривог при зміні рівня вхідного впливу аналогічно пп. 1...4.

5.8 Встановіть перемикач "Тип СУЛТ" в положення 5. При цьому виявлення відбувається на основі рангової процедури у "вікні" з 32 елементів.

Послідовно встановлюючи перемикач "Уровень сигнала" в положення 1...4, визначте ймовірності хибних тривог при зміні рівня вхідного впливу аналогічно пп. 1... 4.

5.9 Систематизуйте отримані дані зведіть їх в таблицю і побудуйте графіки залежності ймовірності хибних тривог від рівня вхідних збурень для кожного типу виявлювача. Зробіть висновки.

5.10 Встановіть перемикач "Уровень сигнала" в положення 3. Перемикач "Тип СУЛТ" – в положення 1. Послідовно встановлюючи перемикач "Тип распределения" в положення 1...4, визначте кількість хибних перевищень. При цьому на вхід виявлювача поступає

псевдовипадковий сигнал, розподілений відповідно по релеєвському, нормальному, експоненціальному і логарифмічно-нормальному законам.

5.11 Перемикач "Тип СУЛТ" встановіть в положення 2. Послідовно встановіть перемикач "Тип распределения" в положення 1...4. В кожному з положень перемикача визначте імовірність хибних перевищень.

5.12 Перемикач "Тип СУЛТ" встановіть в положення 3. Послідовно встановіть перемикач "Тип распределения" в положення 1...4. В кожному з положень перемикача визначте імовірність хибних перевищень.

5.13 Перемикач "Тип СУЛТ" встановіть в положення 4. Послідовно встановіть перемикач "Тип распределения" в положення 1...4. В кожному з положень перемикача визначте імовірність хибних перевищень.

5.14 Перемикач "Тип СУЛТ" встановіть в положення 5. Послідовно встановіть перемикач "Тип распределения" в положення 1...4. В кожному з положень перемикача визначте імовірність хибних перевищень.

5.15 Зведіть дані в таблицю. Зробіть висновки.

5.16 Перемикач "Тип распределения" встановіть в положення 5. Перемикач "Контрольная точка" – в положення 1. Тумблер "Ослабление" – в положення 12. Перемикач "Синхр. осцил" – в положення 1. На екрані осцилографа при цьому повинна спостерігатись осцилограма, вид якої показано на рис. 5.1.

На цьому рисунку цифрою 1 позначена ціль у вільному просторі. Цифрами 2,3 – групові цілі. Причому ціль 3 має значно більшу ефективну площу розсіювання, ніж ціль 2; цифрою 4 – ціль, що спостерігається на фоні протяжної пасивної завади. Встановіть перемикач "Контрольная точка" в положення 3. При цьому на екрані осцилографа в тому ж масштабі часу відображається вихідний сигнал виявлювача.



Рисунок 5.1 – Осцилограма

Визначте, які з цілей були виявлені, які – ні, які маскуються хибними виявленнями. Зробіть висновки.

5.17 Перемикач "Тип СУЛТ" встановіть в положення "2". Перемикач "Контрольная точка" – в положення 1. Спостерігайте вхідний сигнал.

Встановіть перемикач в положення 2. Спостерігайте, як змінюється в тому ж масштабі часу оцінка середньої потужності завад, що виробляється виявлювачем з осередненням потужності по елементах "вікна". Встановіть перемикач "Контрольная точка" в положення 3. Визначте, які з цілей були виявлені, які – ні, які маскуються хибними виявленнями. Зробіть висновки.

5.18 Перемикач "Тип СУЛТ" встановіть в положення 3, "Контрольная точка" – в положення 1. Спостерігайте вхідний сигнал. Встановіть перемикач в положення 2. Спостерігайте, як змінюється в тому ж масштабі часу оцінка середньої потужності завад, що виробляється виявлювачем з осередненням потужності по елементах "вікна". Встановіть перемикач "Контрольная точка" в положення 3. Визначте, які з цілей були виявлені, які - ні, які маскуються хибними виявленнями. Зробіть висновки.

5.19 Перемикач "Тип СУЛТ" встановіть в положення 4. При цьому виявлення відбувається на основі порядкової статистики. Перемикач "Контрольная точка" встановіть в положення 1. Спостерігайте вхідний сигнал. Потім встановіть перемикач в положення 3. Визначте, які з цілей були виявлені, які – ні, які маскуються хибними виявленнями. Зробіть висновки.

5.20 Перемикач "Тип СУЛТ" встановіть в положення 5. При цьому виявлення відбувається на основі рангової процедури. Перемикач "Контрольная точка" встановіть в положення 1. Спостерігайте сигнал, потім встановіть в положення 3. Визначте, які з цілей були виявлені, які – ні, які маскуються хибними виявленнями. Зробіть висновки.

5.21 За результатами роботи оформіть звіт, який повинен закінчуватися загальними висновками з роботи.

6 ЗМІСТ ЗВІТУ

Звіт повинен містити:

- 6.1 Залежність $P_{x\delta}$ від вхідних збурень для п'яти типів виявлювачів по пп. 5.1...5.9. Висновки.
- 6.2 Залежність $P_{x\delta}$ від виду функції розподілу щільності ймовірності вхідного псевдовипадкового процесу по пп. 5.10,5.15. Висновки.
- 6.3 Епюри вхідного впливу і результата виявлення по пп. 5.16, 5.19, 5.20.
- 6.4 Епюри вхідного впливу, оцінки середньої потужності завад і результатів знаходження по пп.5.17,5.18.Висновки.

7 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

- 7.1 Статистичні критерії виявлення.
- 7.2 Відношення правдоподібності.
- 7.3 Структура оптимального виявлювача повністю відомого сигналу.
- 7.4 Вибір інтервалу дискретизації і розрядності аналого-цифрових перетворювачів в цифрових виявлювачах.
- 7.5 Структура виявлювача з бінарним квантуванням вхідного процесу.
- 7.6 Структура і характеристики виявлювача для умов параметричної невизначеності завад.
- 7.7 Структура і характеристики виявлювача для умов непараметричної невизначеності завад.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Піза Д.М. Теорія і проектування радіолокаційних систем: навчальний посібник [Текст] / Д.М. Піза, Б.М. Бондарев. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 82 с.
2. Васюта К.С. Основи побудови радіолокаційних засобів розвідки повітряного простору: концепт лекцій / К.С. Васюта, О.В. Тесленко, В.М. Купрій, О.А. Малишев. – Х.: ХУПС, 2013. – 212 с.: іл.
3. Яновський Ф.Й. Метеонавігаційні радіолокаційні системи повітряних суден / Ф.Й. Яновський. – К.: НАУ, 2003. – 307 с.
4. Яновський Ф.Й. Радіолокаційні системи повітряних суден: підруч. / Ф.Й. Яновський. – К.: НАУ, 2012. – 688 с.
5. Піза Д.М. Проектирование радиолокационных систем [Электронный ресурс]: монография / Д.М. Пиза, Д.С. Семенов, Т.И. Бугрова; под. общ. ред. Д.М. Пизы. Электронные данные. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. <http://eir.zp.edu.ua/handle/123456789/2216?mode=full>
6. Сумик М.М. Космічні радіотехнічні комплекси / М.М. Сумик – Львівська політехніка, 2004. – 183 с.