

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних пристроїв**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Сергій ЖУК
«___» _____ 2022р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»

зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

на тему: «Алгоритм виявлення компактної групової радіолокаційної цілі»

Виконав (-ла):
студент (-ка) II курсу, групи РС-11мп
Романушко Олександр Сергійович

Керівник:
Ст.викладач, к.т.н.
Чмельов В'ячеслав Оріїнович

Рецензент:
Доцент, к.т.н.
Сушко Олександр Юрійович



Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент (-ка) _____



Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Радіотехнічний факультет

Кафедра радіотехнічних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__5__» вересня 2022р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Романушко Олександр Сергійович

1. Тема дисертації «Алгоритм виявлення компактної групової радіолокаційної цілі», науковий керівник дисертації Чмельов В'ячеслав Юрійович, к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «__09__» листопада 2022 р. № 4137-с
2. Термін подання студентом дисертації 12 грудня 2022 року
3. Об'єкт дослідження: виявлення радіолокаційних цілей.
4. Вихідні дані: РЛС з ЛЧМ сигналом, $C := 3 \cdot 10^8$, $R_{\max} := 30000$, $E_1 := 1 \text{ м}^2$, $E_2 := 0.1$, $E_3 := 0.01$.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 1) Виявлення складних радіолокаційних цілей сучасними РЛС
 - 2) Провести класифікацію радіолокаційних цілей та їх особливості
 - 3) Дослідити особливості ідентифікації групової цілі
 - 4) Проаналізувати потенціальну роздільну здатність типових зондуючих сигналів РЛС
 - 5) Розглянути сучасну РЛС з ЛЧМ сигналом
 - 6) Дослідити різновиди частотної модуляції зондуючого сигналу
 - 7) Розробити алгоритм групової радіолокаційної цілі

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу
_____ Презентація доповіді, _____

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Дата видачі завдання 5 вересня 2022р.

Календарний план

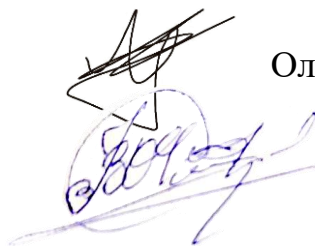
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Затвердження теми	05.09.2022	
	Подання 1го розділу	03.10.2022	
	Подання 2го розділу	06.10.2022	
	Подання розрахункової частини	08.10.2022	
	Подання 3го розділу	12.10.2022	
	Затвердження Літератури	03.11.2022	
	Подання презентації для допуску	05.11.2022	
	Подання дисертаційної роботи на рецензію	12.12.2022 року	

Студент

Олександр РОМАНУШКО

Науковий керівник

В'ячеслав ЧМЕЛЬОВ



ЗМІСТ

Анотація.....	6
Annotation.....	7
Вступ.....	8
1..... Теоретичні засади виявлення радіолокаційних цілей	9
1.1 Сучасні радіолокаційні системи в Україні та їх основні характеристики	9
1.2 Класифікація радіолокаційних цілей та їх особливості...	16
1.2.1 Розрахунок ЕПР	19
1.2.2 ЕПР точкових цілей	21
1.3 Складні та групові цілі	22
1.3.1 Залежність ЕПР цілі від ракурсу.....	23
1.3.2 ЕПР кутового відбивача.	24
1.3.3 ЕПР складних цілей	24
1.4 Висновок.....	28
2.....Роздільна здатність радіолокаційних систем	29
2.1 Функція радіолокаційних систем.....	29
2.2 ЛЧМ сигнал.....	29
2.3 Розрахунки основних параметрів радіолокаційної системи з імпульсним ЛЧМ сигналом	36
2.3.1 Параметри сигналу.....	36
2.4 Порівняння характеристик ЛЧМ сигналу з різними типами модуляції	37

2.5	Висновок.....	42
3	Радіолокаційна система з імпульсним ЛЧМ сигналом.....	44
3.1	Структурна схема РЛС	44
3.2	Алгоритм виявлення компактної групової цілі.....	46
3.3	Висновки	53
4	Розробка етапів проекту.....	54
	Висновки.....	53
	Список використаних джерел.....	75

АНОТАЦІЯ

В дисертації розглянуто Радіолокаційні системи з ЛЧМ сигналом, проведено порівняння з різними типами модуляції. Запропоновано алгоритм виявлення компактної групової цілі. Проведено розрахунки роздільної здатності сигналу. Представлено ефективну площу розсіювання складних та групових цілей.

Запропонований алгоритм дає змогу вдосконалити роботу радіолокаційних систем і забезпечити розділення цілей на одиничні та групові.

Ключові слова: *РЛС, ЕПР, сигнал, ЛЧМ сигнал, роздільна здатність, алгоритм.*

ANNOTATION

In the dissertation, radar systems with LFM signal are considered, a comparison with different types of modulation is made. An algorithm for detecting a complex group target is proposed. Calculations of signal resolution have been carried out. The effective scattering area of complex and group targets is presented. The proposed algorithm makes it possible to improve the operation of radar systems and ensure the separation of targets into single and group ones.

Key words: radar, EPR, signal, LCHM signal, resolution, algorithm.

ВСТУП

У сучасних радіолокаційних системах широко використовуються сигнали з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ), які за великої тривалості зондувальних сигналів забезпечують високе розділення за дальністю за рахунок їх стиснення. Збільшення величини бази ЛЧМ сигналу, що використовується у радіолокаційній системі, підвищує її потенційні інформаційні можливості – кількість, точність, детальність, достовірність радіолокаційної інформації, тощо.

Традиційна радіолокація ЛЧМ сигналами виникає невизначеність виявлення групової цілі. Для вирішення проблеми у роботі запропоновано алгоритм оцінки виявлення компактної групової цілі. У роботі розглядаються, зокрема, Радіолокаційні системи з ЛЧМ сигналом, розрахунок роздільної здатності типових зондуючих сигналів. Проведена порівняльна характеристика ЛЧМ сигналу з іншими типами модуляції. Побудована блок схема сучасної РЛС.

На основі отриманих результатів можна впевнитися у доцільності використання запропонованого алгоритму виявлення компактної групової цілі.

Об'єкт дослідження: виявлення радіолокаційних цілей.

Предмет дослідження: Класифікація радіолокаційної цілі на групові та одиничні

Мета роботи: Розроблення алгоритму виявлення компактної групової цілі

Часткові завдання:

аналіз потенціальної роздільної здатності типових зондуючих сигналів;
дослідження сучасних РЛС, алгоритм РЛС з ЛЧМ сигналом

Отримані результати: подано у розрахунках, що дає змогу використання запропонованого алгоритму.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИЯВЛЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЦІЛЕЙ

1.1 Сучасні радіолокаційні системи в Україні та їх основні характеристики

Радіолокаційні станції розвідки рухомих цілей активно використовуються як в інтересах ведення бою, так і при організації систем протидії злочинності і тероризму. Ці РЛС станції призначені для стеження за переміщенням військ та бойової техніки, забезпечення коригування стрільби засобів ураження, охорони рубежів і об'єктів, розпізнавання «свій-чужий». «Барсук» - портативна РЛС розвідки цілей малої дальності



Рис.1.1. РЛС "Барсук"

Являє собою портативний варіант радіолокаційної станції. Режим розпізнавання дозволяє визначити відстань до цілі, а за характерним звуковим забарвленням спектра сигналу класифікувати об'єкт. Мала вага РЛС дає можливість оператору носити її на грудях.

«Барсук» незамінний в умовах патрулювання або переслідування порушників в умовах відсутності видимості.

Таблиця 1.1. ТТХ РЛС "Барсук"

	112L1 «Барсук»	112L2 «Барсук-Т»
Частотний діапазон, ГГц	36	36
Дальність виявлення, км:		
людини	0,6-0,8	1,6
бронетехніки	2	3,2
автомобіля (ЕПР = 10м ²)	1,6	2
малорозмірного плаваючого засобу (ЕПР > 50м ²)	2	3,2
Зона огляду		
по азимуту, град	360	360
За дальності, км	1,2; 2,4	1,6; 3,2
Роздільна здатність	8°/25 м	8°/25 м
Сектор огляду, град		5-120
Температурний режим	30°...+50° С	30°...+50°С
Потужність передавача, Вт	0,03	0,2
Напруга живлення, В	12	12
Вага, кг	5,5	40,0
Варіант виконання	носимий	На тринозі

79К6 «Пелікан» Трикоординатна радіолокаційна станція кругового огляду виробництва НВК

«Іскра». Призначена для роботи в умовах наявності перешкод природного та навмисного типу. Може бути використана в протиповітряній обороні, для видачі даних про ціль на зенітно-ракетний комплекс, а також як інформаційна ланка з військово-повітряними цілями і підрозділами ППО щодо забезпечення безпеки польотів.



Рис.1.2. 79К6 «Пелікан»

РЛС побудована на базі цифрової фазової активної решітки. Однією з особливостей даної РЛС є висока середня потужність випромінюваного сигналу, що досягається за рахунок застосування сучасного багатопроменевого передавача.

Таке значення в понад три рази перевершує значення середньої потужності сучасної транзисторної РЛС. Висока стабільність передавальної системи в поєднанні з високою частотою повторення зондувальних імпульсів дозволяють ефективно гасити пасивні перешкоди і виявляти цілі з малими радіальними швидкостями.

«Пелікан» — радіолокаційна станція кругового огляду з координатним і трасовим виходами, яка працює автономно або у складі регіональних і національних автоматизованих систем управління (АСУ). Уся апаратура цієї РЛС розміщується в одній транспортній одиниці. «Пелікан» використовується як інформаційна ланка в підрозділах Збройних Сил для контролю та управління повітряним рухом. Станція виявляє і супроводжує повітряні об'єкти, визначає їх швидкість без перешкод і за наявності активних і пасивних перешкод, а також при їх комбінованому впливі; визначає державну належність повітряних об'єктів, отримує від своїх літаків індивідуальну та польотну інформацію, виконує інші завдання.

РЛС також можна використовувати для взаємодії з командними пунктами регіональних та національних АСУ, і що особливо важливо — у

складі зенітно- ракетних військ для видачі цілевказівок зенітно-ракетним комплексам. Поява в українській армії РЛС 79К6 дозволила автономно застосовувати зенітні ракетні дивізіони С-300ПТ (ПС). Окрім того, можливе застосування цієї РЛС у бригадній структурі (6 дивізіонів).

За основними тактико-технічними характеристиками РЛС 79К6 не поступається зарубіжним аналогам, а її вартість щонайменше вдвічі менша за відомі зразки, наприклад, РЛС AN/TPS-117 виробництва компанії Northrop Grumman[14].

Таблиця 1.2. Тактико-технічні характеристики РЛС 79К6 «Пелікан»

Максимальна дальність виявлення цілі	400 км.
Дальність виявлення цілі на висоті польоту	
100 м	40 км,
1000 м	110 км,
10–30 км	300—350 км.
Робочий діапазон частот	S
Період огляду, с	5, 10
Тип антени	цифрова антенна решітка
Тип передавача:	багатопроміньовий клістрон
Пікова потужність передавача, кВт	130
Число променів у вертикальній площині	12
Придушення пасивних завад, дБ	50
Придушення активних завад, дБ	20
Кількість супроводжуваних цілей, більше	300
Апаратура системи розпізнавання державної приналежності	вбудована
Кількість транспортних одиниць	2
Час розгортання/згортання, хв	30



Рис.1.3. РЛС 36Д6-М

Рухома трьох координатна радіолокаційна станція кругового огляду малих і середніх висот, із координатним і трасовими виходами, що працює автономно або в складі регіональних і національних автоматизованих систем управління (АСУ) призначена для використання:

- у складі зенітно-ракетних військ для видачі цілевказань зенітно-ракетним комплексам;
- в якості інформаційного ланки в підрозділах військово-повітряних сил і ППО для контролю та управління повітряним рухом.

РЛС забезпечує:

- виявлення, супровід і вимір трьох координат повітряних об'єктів та їх шляхової швидкості в умовах без завад і при впливі природних і організованих активних і пасивних завад, а також в умовах їх комбінованого впливу;
- визначення державної належності повітряних об'єктів, отримання від своїх літаків індивідуальної та польотної інформації, її відображення і видачу споживачам;
- визначення з кута місця та і азимутальних пеленгів на

постановники активних завад; видачу інформації на автономні засоби відображення і взаємодію з командними пунктами регіональних і національних АСУ.

РЛС 36Д6 складається з наступних основних частин:

- формувача зондуючих імпульсів;
- клістронного підсилювача потужності (передавача);
- антенної системи з коаксиально-хвильовим трактом;
- чотириканальної приймальної системи;
- чотириканальної системи придушення пасивних завад і автоматичного виявлення;
- радіолокаційного процесора даних і робочих місць персоналу на основі кольорових TFT моніторів;
- вбудованого запитувача системи розпізнавання.

Огляд простору по азимуту здійснюється механічним обертанням антенної системи. Огляд простору по куту місця здійснюється формуванням чотирьох парціальних променів у вертикальній площині.

Формування чотирьох променів здійснюється методом частотного сканування. Для цього формувач зондуючих імпульсів формує зондуючий імпульс, що складається з чотирьох імпульсів на чотирьох різних частотах. Залежно від частоти в антенній системі формується один з чотирьох фіксованих променів.

Конструкція антенної системи дозволяє формувати чотири промені в зоні кутів 0° - 6° протягом одного обороту антени і чотири промені в зоні кутів 6° - 30° впродовж іншого повороту антени.

Таким чином, огляд 30° зони по куту місця виконується протягом двох обертів антени по азимуту.

Відбиті сигнали, прийняті антеною системою за допомогою частотних фільтрів, розподіляються між каналами приймальної системи.

У приймальних каналах здійснюється придушення активних завад.

У кожному каналі системи обробки здійснюється:

- аналого-цифрове перетворення;
- стабілізація рівня хибних тривог;
- придушення відображень від пасивних завад;
- автоматичне виявлення[15].

Таблиця 1.3. технічні характеристики

Діапазон робочих частот	S
Межі роботи станції:	
за дальністю, залежно від режиму:	
Мінімальна, км	3.5; 7;14
Максимальна, км	90, 180, 360
по азимуту, град	360
по куту місця, град	0 – 30
по висоті, км	20
Період огляду, с:	
при куту місця до 6°	5, 10, 20
при куту місця до 30°	10, 20
Дальність виявлення повітряного об'єкта типу «тактичний винищувач», км:	
При висоті польоту 100 м	42
При висоті польоту 1000 м	110
Точність визначення координат ПО:	
по азимуту, хв.	15
за дальністю, м	100
По висоті (при дальності 90 км), м	400
Придушення відображень від місцевих предметів, дБ	48 –50
Кількість одночасно супроводжуваних трас	150 – 200

1.2 Класифікація радіолокаційних цілей та їх особливості

Електромагнітна хвиля, падаюча на об'єкт, незалежно від його природи викликає вимушені коливання вільних і пов'язаних зарядів, синхронні з коливаннями падаючого поля. Вимушені коливання зарядів створюють повторне поле всередині або поза тілом. Внаслідок цього енергія електромагнітної хвилі, падаючої на мету, розсіюється у всіх напрямках, в тому числі і в напрямі до радіолокаційної станції. Що приходить в точку прийому, пере випромінена хвиля являє собою відображений метою сигнал.

Характер повторного випромінювання (відображення) електромагнітних хвиль залежить від форми об'єкта, розташованого на шляху їх поширення, його розмірів і електричних властивостей, а також від довжини падаючої хвилі і її поляризації.

Прийнято розрізнявати дзеркальне, дифузне і резонансне відображення. Якщо лінійні розміри відображаючої поверхні багато більше довжини хвилі, а сама поверхня гладка, то виникає дзеркальне відображення. При цьому кут падіння радіо випромінювання рівний куту відображення, і хвиля повторного випромінювання не повертається до РЛС (за винятком випадку нормального падіння). Якщо лінійні розміри поверхні об'єкта великі в порівнянні з довжиною хвилі, а сама поверхня шорстка, то має місце дифузне відображення. При цьому завдяки різній орієнтації елементів поверхні електромагнітні хвилі розсіюються в різних напрямках, в тому числі і в напрямі на РЛС.

Резонансне відображення спостерігається в тому випадку, коли лінійні розміри відображених об'єктів або їх елементів рівні непарному числу півхвиль. На відміну від дифузного відображення, повторне резонансне випромінювання звичайно володіє великою інтенсивністю і різко вираженою спрямованістю, що залежить від конструкції і орієнтації зухвалого відображення елемента. У тих випадках, коли довжина хвилі велика в порівнянні з лінійними розмірами мети, падаюча хвиля огинає мету і інтенсивність відображеної хвилі нікчемно мала.

З точки зору формування сигналу при відображенні об'єкти радіолокаційний спостереження прийнято ділити на малорозмірні і розподілені в просторі або на поверхні.

До малорозмірних відносяться об'єкти, розміри яких значно менше розмірів елемента дозволу РЛС по дальності і кутовим координатам. У ряді випадків малорозмірні об'єкти мають найпростішу геометричну конфігурацію. Їх відображаючі властивості можуть бути легко визначені теоретично і передбачені для кожного конкретного відносного розташування мети, що розглядається і РЛС. У реальних умовах цілі найпростішого типу зустрічаються досить рідко. Частіше доводиться мати справу з об'єктами складної конфігурації, які складаються з цілого ряду жорстко пов'язаних між собою найпростіших відображаючих елементів. Прикладами цілей складної конфігурації можуть служити літаки, кораблі, різні споруди і т. д.

Інші цілі являють собою сукупність окремих об'єктів, розподілених в певній області простору, що значно перевищує по своїх розмірах елемент дозволу РЛС. У залежності від характеру цього розподілу розрізняють об'ємно-розподілені (наприклад, дощова хмара) і поверхнево-розподілені (поверхню суші і т. д.) цілі. Відображений від такої мети сигнал є результатом інтерференції сигналів відбивачів, розподілених в межах елемента дозволу.

Для фіксованого взаємного положення РЛС і відображених об'єктів амплітуда і фаза відображеної хвилі мають цілком певну величину. Тому в принципі для кожного конкретного випадку може бути визначений результуючий сумарний відображений сигнал. Однак в процесі радіолокаційний спостереження відносно положення цілей і РЛС звичайно міняється, що приводить до випадкових флюктуаціям інтенсивності і фази результуючих відображених сигналів.

Ефективна площа вторинного випромінювання цілі – площа поверхні такого еквівалентного вторинного випромінювача, який ізотропно (тобто рівномірно в усі боки) розсіюючи енергію хвилі, що падає, створює в точці

приймання таку ж щільність потоку енергії, як і реальна ціль. Таким чином, ЕПЦ є абстракцією, моделлю, яка дає можливість оцінити відбивальну здатність цілі. Очевидно, що ЕПР може використовуватися й для оцінювання радіолокаційної помітності цілі.

На величину ЕПР впливають багато факторів, до основних з яких відносяться такі:

- розміри і геометрична форма цілі;
- ракурс спостереження цілі, що визначає, яка саме частина поверхні цілі опромінюється зондувальною електромагнітною хвилею;
- робоча частота радіолокатора, а точніше, співвідношення між довжиною хвилі локатора та характерними розмірами цілі;
- електричні властивості матеріалу, з якого виконана конструкція цілі.

Вплив перерахованих факторів є комплексним і тому враховувати їх треба також спільно.

1.2.1 Розрахунок ЕПР

Аналітичні вирази для розрахунку значень ЕПР можуть бути отримані лише для обмеженого набору цілей, що мають просту форму поверхні. Більшість цілей мають складну геометричну форму поверхні і для визначення їх ЕПЦ застосовуються натурні вимірювання, а також методи фізичного або математичного моделювання.

Вихідний математичний вираз для розрахунку ЕПР у випадку суміщеного прийому (однопозиційної локації) може бути представлено у вигляді:

$$\sigma = 4\pi r^2 \frac{S_r}{S_t} \quad (1)$$

де r – радіус еквівалентного розсіювача,

S_r – щільність потоку потужності падаючої хвилі в точці знаходження цілі,

S_t – щільність потоку потужності розсіяної хвилі біля антени радіолокатора.

Нижче, в Таблиці 1,2.1 наведені формули для розрахунку ЕПР деяких об'єктів простої форми. Формули отримані для випадків, коли довжина хвилі λ радіолокатора набагато менше характерного розміру цілі, а поверхня об'єкту є ідеально провідною.

Таблиця 1.2.1 – Формули для розрахунку ЕПЦ деяких об'єктів простої форми

 <i>формула для розрахунку ЕПР сфери радіусу R</i>	$\sigma_{\max} = \pi r^2 \quad (2)$
---	-------------------------------------

 Формула для розрахунку ЕПР циліндру довжини h з радіусом основи r	$\sigma_{\max} = \frac{2\pi r h^2}{\lambda} \quad (3)$
 формула для розрахунку ЕПР прямокутної пластини зі сторонами b та h, розташованої перпендикулярно напрямку зондування.	$\sigma_{\max} = \frac{2\pi r b^2 h^2}{\lambda^2} \quad (4)$
	

На останньому рисунку Таблиці 1.2.1 зображена ситуація, коли плоска пластина розташована під кутом до напрямку зондування. В даній ситуації розсіяна таким об'єктом електромагнітна хвиля практично не відбивається в напрямку радіолокатора і, значить, його ЕПЦ буде мати малі значення. Саме такий метод зниження радіолокаційної помітності застосовано в літаку F-117, поверхня якого складається з великої кількості похилих пластин. Ці пластини орієнтовані таким чином, щоби при падінні на них електромагнітної хвилі з передньої півсфери (звідти, де, як правило, знаходяться засоби протиповітряної оборони противника), відбиті хвилі направлялися у задню півсферу. Для виявлення подібних цілей більш ефективним є використання багатопозиційних радіолокаційних систем, в яких передавальні та приймальні пункти рознесені у просторі.

1.2.2 ЕПР точкових цілей

Геометричні розміри цілей більшості типів не перевищують розмірів імпульсного об'єму радіолокатора, призначеного для їх виявлення. Цілі, що мають такі розміри, називають точковими. ЕПЦ таких цілей визначається взаємодією електромагнітних хвиль, відбитих від так званих «блискучих» точок. «Блискучими» точками називають елементи поверхні цілі, які при заданих умовах спостереження (довжина хвилі радіолокатора, ракурс зондування) вносять найбільший внесок у розсіяне об'єктом поле, а значить, і в ЕПР. Залежно від взаємного розташування «блискучих» точок, а також напрямку спостереження, відбиті ними хвилі можуть мати різні фазові співвідношення: від синфазного (тоді інтенсивність результуючого відбиття зростає) до протифазного (інтенсивність відбиття зменшується). Саме цей ефект визначає осцилюючий характер ЕПР залежно від ракурсу спостереження, при цьому кругова діаграма ЕПР має зрізаний характер(рис.1.2)

Слід відмітити, що швидкість осциляції ЕПР залежно від кута спостереження визначається співвідношенням між довжиною хвилі радіолокатора та характерними розмірами цілі: чим менша довжина хвилі порівняно із розмірами цілі, тим сильніша осциляція ЕПР.

Враховуючи значні коливання величини ЕПР, в деяких випадках зручно представляти її значення в логарифмічному масштабі, наприклад, в децибелах (дБ) відносно одиничної площі (1 м^2).

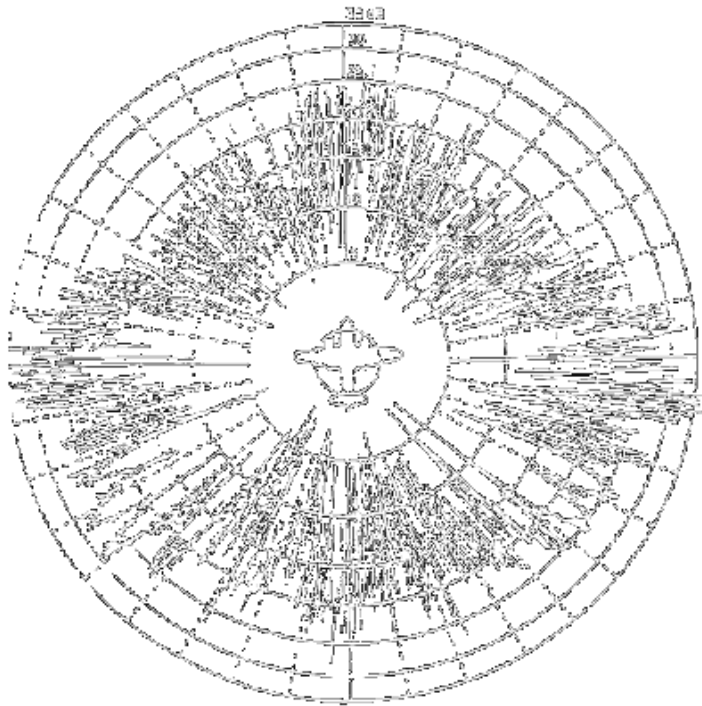


Рис. 1.2 - Кругова діаграма ЕПР літака В-26 3ГГц

1.3 Складні та групові цілі

Розгляд найпростіших відбивачів не викликає труднощів. Більшість реальних радіолокаційних цілей представляє собою складну комбінацію відбивачів різного типу. У процесі радіолокаційного спостереження таких цілей мають справу з сигналом, який є результатом інтерференції декількох сигналів, відбитих від окремих елементів мети.

При опроміненні складного об'єкта (наприклад, літак, корабель, танк і т. д.) характер відбиттів від його окремих елементів сильно залежить від їх орієнтації. У деяких положеннях певні частини літака або корабля можуть давати досить інтенсивні сигнали, а в інших положеннях інтенсивність відбитих сигналів може падати до нуля. Крім того, при зміні положення об'єкта відносно РЛС змінюються фазові співвідношення між сигналами, відбитими від різних елементів. У результаті цього виникають флуктуації результуючого сигналу.

Можливі й інші причини змін інтенсивності відбитих сигналів. Так, може спостерігатися зміна провідності між окремими елементами літака, однією з причин якого є вібрації, зумовлені роботою двигуна. При зміні

провідності змінюються розподілу струмів, наведених на поверхні літака, і інтенсивність відбитих сигналів. У гвинтових і турбогвинтових літаків додатковим джерелом зміни інтенсивності відображень є обертання гвинт.

1.3.1 Залежність ЕПР цілі від ракурсу.

У процесі радіолокаційного спостереження взаємне положення літака (корабля) і РЛС безперервно змінюється. Результатом цього є флуктуації відображених сигналів і відповідні їм зміни ЕПР. Закони розподілу ймовірностей ефективної площі розсіювання цілі і характер змін цієї величини у часі зазвичай визначаються експериментально. Для цього записують інтенсивність відбитих сигналів і після обробки запису знаходять статистичні характеристики сигналів та ЕПР.

Як показали багато досліджень, для флуктуації $\sigma_{\text{ц}}$ літаків з достатньою точністю справедливий експонентний закон розподілу

$$W(\sigma_{\text{ц}}) = (1/\langle\sigma_{\text{ц}}\rangle) \exp(-\sigma_{\text{ц}}/\langle\sigma_{\text{ц}}\rangle)$$

де $\langle\sigma_{\text{ц}}\rangle$ - середнє значення ЕПР.

Діаграми зворотного випромінювання кораблів мають більш тонку пелюсткову структуру, ніж діаграми літаків, що пояснюється значно більшими розмірами і складною конструкцій кораблів. Елементи, що відбивають корабля численні й різноманітні, тому корабель також можна розглядати як групу елементів, відбиття від яких мають випадкові фази.

Експериментальні дослідження показують, що флуктуації ЕПР корабля наближено описуються також експоненціальним законом розподілу.

Дані про закони розподілу амплітуд сигналів або ЕПР необхідні для розрахунку дальності дії РЛС і обґрунтування методики обробки сигналів. Відомості про функції кореляції і спектру флуктуації крім того важливі при визначенні точності вимірювання координат.

При практичній оцінці дальності дії радіолокаційної станції насамперед зазвичай користуються середнім значенням ЕПР $\langle\sigma_{\text{ц}}\rangle$. Цю величину можна

отримати усередненням значень $\langle \sigma_{\alpha} \rangle$ для різних напрямків падіння випромінюваної хвилі. У таблиці наведені середні значення ЕПР різних реальних цілей, отримані в результаті узагальнення великого числа вимірювань на хвилях сантиметрового діапазону. Користуючись цими величинами, можна зробити обчислення середніх значень дальності виявлення різних цілей.

1.3.2 ЕПР кутового відбивача.

Кутовий відбивач складається з трьох взаємно перпендикулярних металевих листів, він має властивість відбиття радіохвиль у бік опромінюючої РЛС, що пояснюється трикратним відображенням від стінок відбивача, яке відчуває хвиля, якщо напрям опромінення знаходиться поблизу осі симетрії (у межах тілесного кута від 45°). Формула для розрахунку ЕПР кутового відбивача:

При $a=1$ м та $\lambda_i=10$ см ЕПР кутового відбивача $\sigma_{\alpha 0} = 419$ м². Таким чином, ЕПР кутового відбивача дещо менше ЕПР плоскої пластини з розмірами $a = b=1$ м. Однак кутовий відбивач зберігає велике значення ЕПР у досить широкому секторі, тоді як ЕПР пластини різко зменшується при незначних відхиленнях напрямку опромінення від нормалі.

Як пасивні радіолокаційні маяки на морі використовують також біконічні відбивачі, складені з двох однакових металевих конусів. Якщо кут між утворюючими конусів дорівнює 90° , то промінь після дворазового відображення від поверхні конусів прямує у бік РЛС, що забезпечує велике значення ЕПР. Перевагою біконічного відбивача є рівномірна діаграма розсіювання в площині перпендикулярній його осі.

1.3.3 ЕПР складних цілей

ЕПР складних реальних об'єктів вимірюються на спеціальних установках, або полігонах, де досяжні умови дальньої зони опромінення.

Таблиця 1.3.3 ЕПР складних цілей

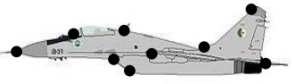
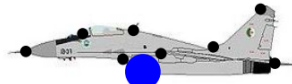
№	Тип мети	$\sigma_{\text{ц}} (\text{м}^2)$
1	Авіація	
1.1	Літак винищувач	3-12
1.2	Малопомітний винищувач	0,3-0,4
1.3	Фронтовий бомбардувальник	7-10
1.4	Важкий бомбардувальник	13-20
1.4.1	Бомбардувальник В-52	100
1.4	Транспортний літак	40-70

Продовження табл.1.3.3

2	Судна	
2.1	Підводний човен у надводному положенні	30-150
2.2	Рубка підводного човна у надводному положенні	1-2
2.3	Малі судна	50-200
2.4	Середні кораблі	2
2.5	Великі кораблі	$> 10^2$
2.6	Крейсер	$\sim 12\ 000 - 14\ 000$
3	Наземні цілі	
3.1	Автомобіль	3-10

3.2	Танк Т-90	29
4	Боєприпаси	
4.1	Крилата ракета ALCM	0,07-0,8
4.2	Головна частина оперативно-тактичної ракети	0,15-1,6
4.3	Боєголовка балістичної ракети	0,03-0,05
5	Інші цілі	
5.1	Людина	0,8-1
6	Птахи	
6.1	Грач	0,0048
6.2	Лебідь-шипун	0,0228
6.3	Великий баклан	0,0092
6.4	Червоний шуліка	0,0248
6.5	Кряква	0,0214
6.6	Сірий гусак	0,0225
6.7	Сіра ворона	0,0047
6.8	Польовий горобець	0,0008
6.9	Звичайний шпак	0,0023
6.10	Озерна чайка	0,0052
6.11	Білий лелека	0,0287

6.12	Чибіс	0,0054
6.13	Гріф-індикка	0,025
6.14	Сизий голуб	0,01
6.15	Домовий горобець	0,0008

Nature of Scattering	Amplitude Model	Fluctuation Rate	
		Slow Fluctuation "Scan-to-Scan"	Fast Fluctuation "Pulse-to-Pulse"
Similar amplitudes 	Rayleigh $p(a) = \frac{2a}{\bar{\sigma}} \exp\left(-\frac{a^2}{\bar{\sigma}}\right)$	Swerling I	Swerling II
One scatterer much Larger than others 	Central Rayleigh, DOF=4 $p(a) = \frac{8a^3}{\bar{\sigma}^2} \exp\left(-\frac{2a^2}{\bar{\sigma}}\right)$	Swerling III	Swerling IV

$\bar{\sigma}$ = Average RCS (m²)

Courtesy of MIT Lincoln Laboratory
Used with permission

Більш дієвим є спосіб виявлення групової цілі імпульсно-доплерівського РЛС, який полягає у тому, що виділяють комплексну обвідну прийнятих відбитих від цілі сигналів, здійснюють її перетворення в цифрові комплексні відліки, формують строби дальності шляхом підсумовування цифрових відліків сигналів в межах інтервалів, які дорівнюють тривалості зондуючого імпульсу, піддають отримані в результаті підсумовування сигнали амплітудному зважуванню, здійснюють фільтрову обробку сигналів за алгоритмом швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), обчислюють значення модулів компактної обвідної сигналів доплерівських частот на виході фільтрів ШПФ, вибирають сигнал з найбільшим значенням модуля компактної обвідної і визначають відповідний йому строб дальності і сигнал

доплерівської частоти, для всіх сигналів доплерівських частот вибраного стропа дальності визначають коефіцієнти послаблення комплексних амплітуд сигналів усіх частот, за допомогою обчислених коефіцієнтів розраховують модуль різниці амплітуд сигналів між комплексними амплітудами сигналів доплерівських частот і добутку максимальної компактної амплітуди сигналу частоти на відповідні коефіцієнти послаблення, порівнюють отриману різницю амплітуд сигналів з пороговим значенням амплітуди, яке встановлюють виходячи з необхідного значення імовірності помилкового виявлення групової цілі, при перевищенні порогового значення хоча б одним значенням різниці амплітуд сигналів приймають рішення про виявлення групової цілі.

1.4 Висновок

В цьому розділі було розглянуто види сучасних РЛС, а саме тенденції розвитку, різновид сучасних РЛС, та способи виявлення рухомих цілей. Виявили, що сучасні тенденції розвитку РЛС полягають насамперед у створенні різних типів РЛС в залежності від поставлених на них задач. Різновид сучасних РЛС вкрай різноманітний, будь-то РЛС для виконання військових цілей, чи цивільних. При розгляданні способів виявлення цілей був вибраний подальший метод роботи.

2 РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

2.1 Функція радіолокаційних систем

Радіолокацією називається виявлення, визначення координат і параметрів руху різних об'єктів (цілей), що відображають або випромінюють радіохвилі. Комплекс радіоелектронних пристроїв, що виконують цю задачу, називається радіолокаційною станцією (РЛС) або радіолокатором.

РЛ-об'єктом або метою може бути будь-яка фізична тіло, електричні властивості якого відрізняються від навколишнього середовища. Електромагнітна енергія сигналів, яку випромінює передавальною антеною, поширюючись в заданому напрямку, відбивається від того чи іншого об'єкта, розташованого на шляху поширення радіохвиль, і приймається приймачем. З виходу приймача посилені сигнали надходять в індикатор, де перетворюються в форму, зручну для отримання інформації про вжиті сигнали.

РЛС з активною відповіддю (на об'єкті радіолокаційний відповідач - приймач) дозволяє пізнати мету по кодованих відповідь сигналам. Залежно від структури зондуючих сигналів розрізняють 2 методи РЛ-виявлення: безперервного випромінювання коливань і імпульсний метод. Імпульсна РЛС періодично випромінює короткочасні імпульси коливань СВЧ, а в проміжках приймає відбиті від об'єктів імпульсні сигнали, запізнілі на час .

Роздільна здатність РЛС характеризує можливість роздільного виявлення і визначення координат декількох цілей, які перебувають на певній відстані один від одного. Роздільна здатність по дальності чисельно рівна мінімальній відстані між двома роздільно виявляються об'єктами, розташованими в одному напрямку. Роздільне виявлення сигналів від цих об'єктів можливе за умови, що відображення від об'єкта 1 закінчиться раніше, ніж надійде сигнал від об'єкта 2.

2.2 ЛЧМ сигнал

Найпростішими і найбільш часто застосовуваними на практиці є сигнали з прямокутною тривалістю ТЗ, що обгинає, несуча частота яких змінюється безперервно за лінійним законом:

$$f(t) = f_0 - \left[\frac{(F_m)}{T_c} \right] \cdot t$$

где F_m – максимальна частотна девіація за час T_c .

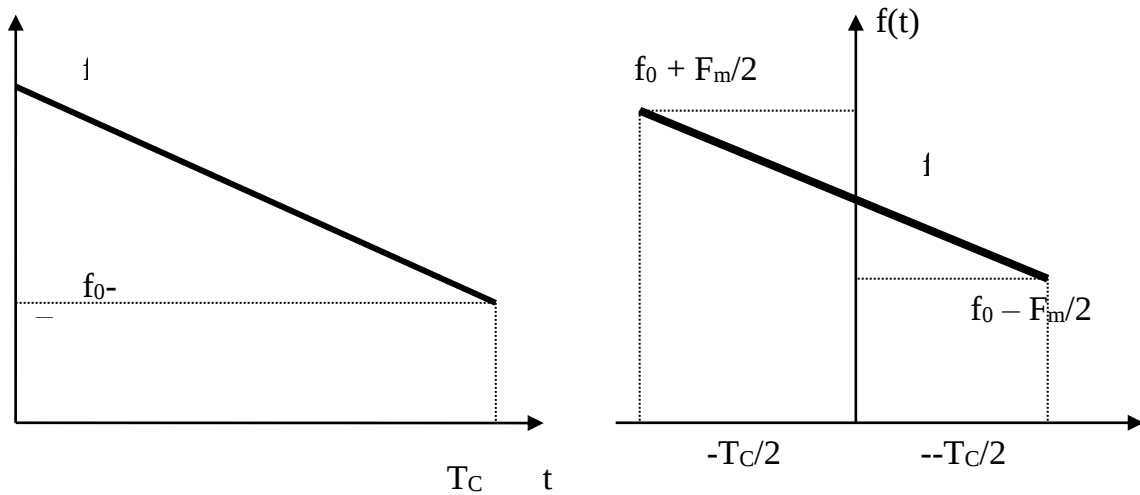


Рис.2.1 Закон зміни частоти в ЛЧМ сигналі

Цей сигнал відноситься до класу складних. При проходженні ЛЧМ сигналу через оптимальне пристрій обробки (узгоджений фільтр чи корелятор) його тривалість зменшується у B разів, а амплітуда зростає у $\sqrt{B}$ разів, де B – база сигналу, що визначається як добуток ширини смуги сигналу з його тривалості.

$$B = \Delta f T_c$$

Аналітично ЛЧМ сигнал записується наступним чином:

$$s(t) = A \cdot \cos \left[2\pi \left[f_0 t - \left[\frac{(F_m)}{T_c} \right] \cdot t^2 \right] \right]$$

при $0 \leq t \leq T_c$.

Формування ЛЧМ сигналу можна здійснити кількома методами. Активний метод полягає в тому, що частота передавача перебудовується на часовій ділянці, що дорівнює тривалості імпульсу. Наприклад це можна здійснювати за допомогою реактивності, яка

перебудовується в процесі модуляції. При пасивному методі використовують той же оптимальний фільтр, який використовується при обробці, тільки особливість полягає в тому, що вхід і вихід цього фільтра змінюють місцями і новий вхід подають короткий немодульований сигнал, а новому виході фільтра отримують частотно - модульований сигнал.

Спектральні властивості сигналу

Спектральну густину ЛЧМ імпульсу можна представити наступною залежністю:

$$S(j\omega) = \left(\frac{A}{2}\right) \cdot \int_{-\frac{(T_c)}{2}}^{\frac{(T_c)}{2}} \exp j \left[[(\omega_0 - \omega) \cdot t] + \frac{(F_m) \cdot t^2}{(2T)_c} \right] dt$$

Обчислити модуль спектральної щільності загалом, не надається можливим, тому всі обчислення здійснюються чисельними методами. Для значень баз сигналів $B > 50$ спектральна щільність ЛЧМ сигналу досить точно описується виразом:

$$S(j\omega) = \left(\frac{T_c}{B}\right) \cdot \exp \left[-j\pi B \cdot \frac{[(f - f_0)^2]}{(F_m)^2} \right]$$

для випадку $|f - f_0| \leq F_m/2$.

На рис.2.2.1 наведений амплітудно-частотний спектр ЛЧМ сигналу різної складності.

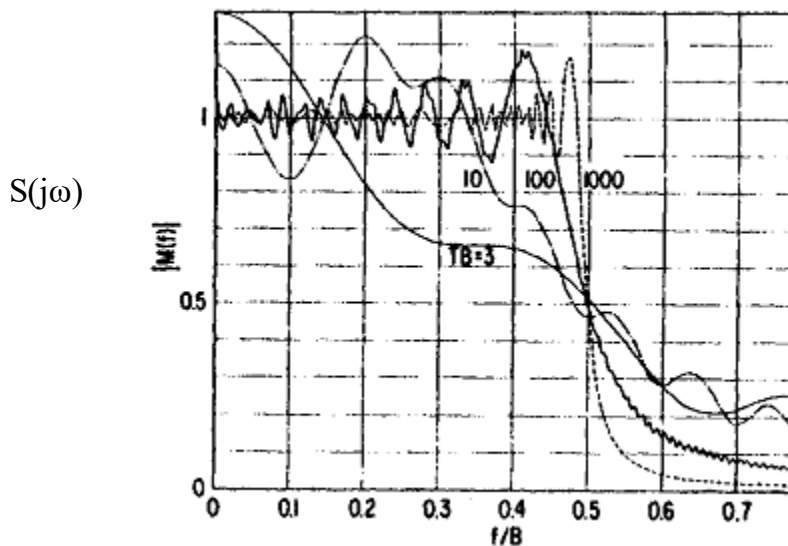


Рис.2.2 Частотний спектр ЛЧМ сигналу для різних значень В.

Функція невизначеності ЛЧМ сигналу.

Функція невизначеності ЛЧМ сигналу записується наступним чином:

$$\chi(\tau, f_d) = \left| \frac{\sin \left[\pi \left[\frac{(F_m \tau)}{T_c} + f_d \right] (T_c - |\tau|) \right]}{\left[\pi \frac{(F_m \tau)}{T_c} + f_d \right] \cdot T_c} \right|$$

при $-T_c \leq \tau \leq T_c$

У випадку, коли девіація частоти $F_m = 0$ (частотна модуляція відсутня), наведене вище вираз повністю збігається з виразом ФН прямокутного імпульсу. Це свідчить про те, що роздільна здатність за частотою, а саме за радіальною швидкістю, визначається лише тривалістю сигналу та законом зміни його амплітуди. Здатність системи розрізнити два сигнали за частотою визначається часом аналізу цих сигналів, яке не може бути більшим за їх тривалість. Чим більша тривалість аналізованих сигналів, тим більше відмінність їх вихідних ефектів як різного набігу фаз. Тому роздільна здатність по частоті визначається тривалістю використовуваних сигналів. Найцікавіше полягає у розгляді аналізованої функції при $f_d = 0$. У разі великого добутку девіації частоти на тривалість, останній вираз можна записати у вигляді:

$$\chi(\tau, 0) = \frac{|\sin \pi F_m \tau|}{|\pi F_m \tau|}$$

Отже, переріз нормованої сумісної кореляційної функції модуляції площиною $f_d = 0$ є функцією $\sin x/x$, ширина центрального максимуму якого залежить від частотної девіації.

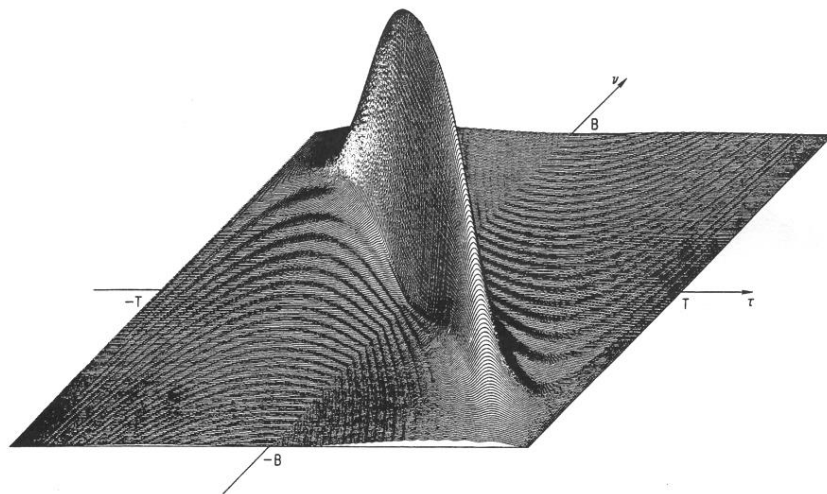


Рис.2.3. Функція невизначеності ЛЧМ сигналу.

Розширенням спектра сигналу, шляхом збільшення девіації частоти, можна отримати скільки завгодно високу роздільну здатність за часом (дальністю).

Розміри топографічного перерізу функції невизначеності ЛЧМ сигналу (рис.4) вздовж ліній максимумів визначаються як:

вдоль осі τ - $|\tau| = 0.5 \cdot T_C$

вдоль осі f_d - $|f_d| = 0.5 \cdot F_m$

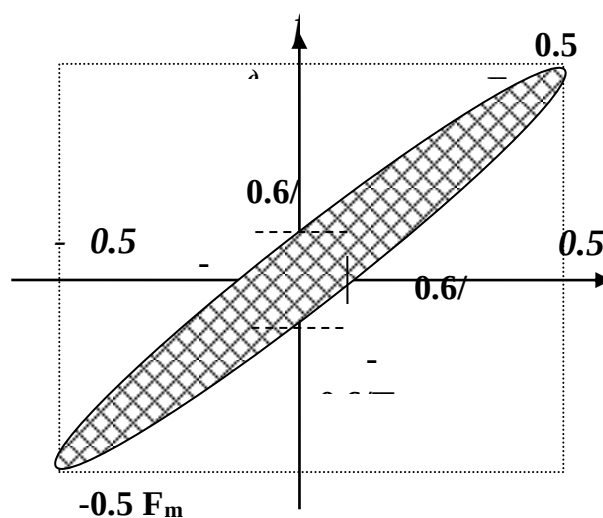


Рис. 2.4. Перетин функції невизначеності за рівнем 0.5

Область високої кореляції радіоімпульсу з лінійною частотною модуляцією (рис.2.4) сильно витягнута в напрямку осі частот, і має ширину $1.2 F_m$. Таким чином, застосування лінійної частотної модуляції в радіоімпульс дозволяє отримати високу роздільну здатність як за часом (за рахунок збільшення девіації частоти), так і за частотою (за допомогою збільшення тривалості сигналу). Достоїнство такого сигналу у цьому, що його тривалість і девіація частоти, визначальна ширину спектра сигналу, можуть задаватися незалежно друг від друга та його твір може у своїй досягати високих значень, визначаючи цим – базу сигналу.

Проаналізувавши переріз ФН ЛЧМ сигналу, можна дійти невтішного висновку у тому, що з виконанні умови $f_d \ll F_m$ оптимальний приймач є одноканальним і з погляду практичної реалізації це його значним перевагою.

Оптимальна фільтрація ЛЧМ сигналу

Коефіцієнт передачі оптимального фільтра, призначеного для обробки ЛЧМ сигналу можна подати у вигляді:

$$K_{opt}(j\omega) = C S^*(j\omega) \exp(-j\omega t_0), \text{ при } t_0 \geq T_c$$

Імпульсна характеристика оптимального фільтра є дзеркальним відображенням сигналу, затриманого на час t_0 .

$$Q_{opt}(t) = C_s(t_0 - t), \text{ при } t_0 \geq T_c$$

Тепер якщо підставити цей вираз значення спектральної щільності ЛЧМ – сигналу, отримаємо формулу коефіцієнта передачі оптимального фільтра ЛЧМ сигналу.

$$K_{opt}(j\omega) = (T_c)/B \cdot \exp(j (\pi B(f - f_0)^2)/F_m^2) \cdot \exp(-j\omega T_c)$$

$$\text{при } t_0 = T_c, |f - f_0| \leq F_m$$

З цієї формули можна зробити висновок, що оптимальний фільтр ЛЧМ сигналу, при постійному коефіцієнті $C=1$, можна реалізувати у вигляді двох послідовно з'єднаних фільтрів $K_1(j\omega)$ і $K_2(j\omega)$.

$$K_1(j\omega) = (CT_c)/B \cdot \exp(-j\omega T_c) \text{ при } |f - f_0| \leq F_m;$$

$$K_1(j\omega) = 0 \text{ для всех других значений } f$$

$$K_2(j\omega) = \exp(j(\pi B(f - f_0)^2)/F_m^2)$$

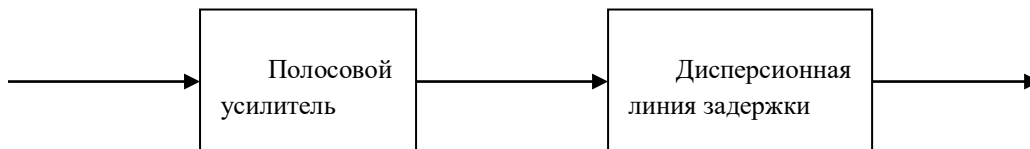
Лінійну систему з коефіцієнтом передачі $K_1(j\omega)$ можна реалізувати за допомогою смугового підсилювача, налаштованого на частоту f_0 зі смугою пропускання F_m .

Лінійну систему з коефіцієнтом передачі $K_2(j\omega)$ можна реалізувати за допомогою фазо-зсувної системи з фазочастотною характеристикою $\pi B(f - f_0)^2/F_m^2$

та з постійним у смузі частот $|f - f_0| \leq F_m$ модулем коефіцієнта передачі.

Фазо-зсувну систему можна реалізувати за допомогою ультразвукової дисперсійної лінії затримки, або за допомогою фільтрів з зосередженими параметрами.

Дисперсійна лінія затримки є пристроєм, у якому час затримки сигналу залежить від частоти. Якщо приблизно врахувати, що в перший момент у ЛЧМ сигналі є найбільш високочастотні складові, а пізніше за часом – більш низькочастотні, то в момент заповнення фільтра сигналом дисперсійна лінія затримки забезпечує синфазне підсумовування всіх «синфазних» складових сигналу. В результаті здійснюється стиск сигналу.



Смушний фільтр відсікає спектральні складові шуму, що знаходяться за межами смуги пропускання, в яких зосереджено енергію ЛЧМ – сигналу.

Сигнал з лінійною частотою модуляції за кодом Баркера матиме вираз:

$$u(t) = A \cos\left(\mu_0 + 2\pi\left(\int_0^t f_0 dt + \frac{b}{2} t^2\right)\right), -T_u/2 \leq t \leq T_u/2.$$

Де $f_0 = (F_{\max} + F_{\min})/2$ – центральне значення несучої частоти, $b = (F_{\max} - F_{\min})/T_u$.

T_u – тривалість сигналу, $F_{\max}$ і $F_{\min}$ – максимальне і мінімальне значення частоти радіосигналу.

2.3 Розрахунки основних параметрів радіолокаційної системи з імпульсним ЛЧМ сигналом

Вихідні дані:

Швидкість світла становить $C := 3 \cdot 10^8$

Пост. Больцмана $K_{bolc} := 1.38 \cdot 10^{-23}$

Ефективна шумова температура приймача $T_{ef} := 1000$

$P_{oteri} := 0.5$

Втрати в приймальному тракті $P_{oteri} \text{ dB} := 10 \cdot \log(P_{oteri}) = -3.01$

ЕПР типових цілей

$E1 := 1 \text{ м}^2$ Винищувач

$E2 := 0.1$ Крилата ракета

$E3 := 0.01$ БПЛА

$R_{max} := 30000$ Максимальна дальність локації

$\lambda_a := 0.03$ (м) Довжина хвилі $f_{sr} := \frac{C}{\lambda_a} = 1 \cdot 10^{10}$ (Гц) Несуща частота

Ймовірність хибної тривоги $P_{lt} := 0.00005$

Ймовірність вірного виявлення $P_{obn} := 0.87$

Коеф. Посилення антени

$G_{ant} := 1500$

$G_{dB} := 10 \cdot \log(G_{ant}) = 31.761 \text{ дБ}$

2.3.1 Параметри сигналу

Для прямокутного ЛЧМ імпульсу, з середньою частотою $f_{cp} = 10 \text{ ГГц}$, тривалістю імпульсу $t_u = 1 \text{ мкс}$, девіацією частоти $\Delta f = 60 \text{ МГц}$, базою сигналу $B = 60$,

$T_{signala} := 1 \cdot 10^{-6}$

$F_s := 60 \cdot 10^6$

$B := T_{signala} \cdot F_s = 60$

$T_{imp} := T_{signala} / B = 1.667 \cdot 10^{-8} \text{ (с)}$ Тривалість стисненого імпульсу

$D_r := C \cdot (T_{imp} / 2) = 2.5 \text{ (м)}$ Роздільна здатність

$T_n := 2 \frac{R_{max}}{C} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ (с)}$

$F_n := \frac{1}{T_n} = 5 \cdot 10^3 \text{ (Гц)}$ Частота повторення

Сліпа зона РЛС

$$R_o := (C * t_{\text{signal}}) / 2 = 150 \text{ м} \frac{C * t_{\text{signal}}}{2} = 300 \quad (\text{м})$$

Необхідне відношення сигнал/шум

$$q := 2 * \left[\left(\frac{\ln\left(\frac{1}{P_{\text{lt}}}\right)}{\ln\left(\frac{1}{P_{\text{obn}}}\right)} \right) - 1 \right] = 140.228 \quad q_{\text{db}} := 10 \log(q) = 21.468$$

Приведене на вхід приймача відношення сигнал/шум

$$q_1 := q / 4B = 0.584$$

$$q_{1\text{dB}} := 10 \log(q_1) = -2.334 \text{ (дБ)}$$

Чутливість приймача

$$P_{\text{resiv}} := q_1 / 2 * F_s * T_{\text{ef}} * K_{\text{bolc}} * P_{\text{oteri}} = 1.209 * 10^{-13}$$

$$P_{\text{rediv_dB}} := 10 \log\left(\frac{P_{\text{resiv}}}{1 * 10^{-3}}\right) = -96.64 \text{ (dBm)} \quad \text{Чутливість приймача}$$

Потужність передавача (Вт)

$$P_{\text{tr3}} := \frac{R_{\text{max}}^4 * 64 \pi^3 * P_{\text{resiv}}}{G_{\text{ant}}^2 * E_l * l_a^2} = 9.6 * 10^4$$

Перевірка розрахунку (Вт)

$$P_{\text{tr3}} := \frac{R_{\text{max}}^4 * 64 \pi^3 * \left(\frac{q_1}{2} * F_s * T_{\text{ef}} * K_{\text{bolc}} * P_{\text{oteri}}\right)}{G_{\text{ant}}^2 * E_l * l_a^2} = 9.6 * 10^4$$

Середня потужність передавача

$$P_{\text{red}} := P_{\text{tr3}} * t_{\text{signal}} * F_n = 480.014 \quad (\text{Вт})$$

Дальність виявлення цілей різних ЕПР: 1 0.1 0.01 (м²)

$$R_{\text{max1}} := \sqrt[4]{\frac{P_{\text{tr3}} * G_{\text{ant}}^2 * l_a^2 * E_l}{(4\pi)^3 * P_{\text{resiv}}}} = 3 * 10^4 \quad (\text{м}) \text{ Винищувач}$$

$$R_{\text{max2}} := \sqrt[4]{\frac{P_{\text{tr3}} * G_{\text{ant}}^2 * l_a^2 * E_2}{(4\pi)^3 * P_{\text{resiv}}}} = 1.687 * 10^4 \quad (\text{м}) \text{ Крилата ракета}$$

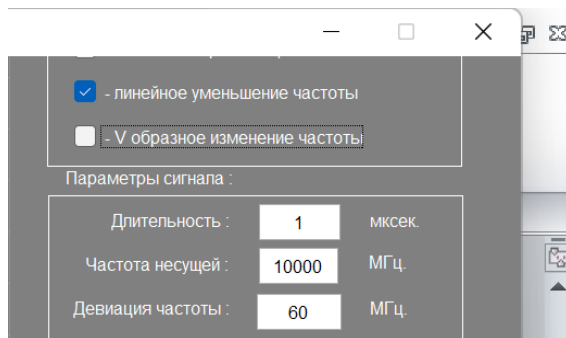
$$R_{\text{max3}} := \sqrt[4]{\frac{P_{\text{tr3}} * G_{\text{ant}}^2 * l_a^2 * E_3}{(4\pi)^3 * P_{\text{resiv}}}} = 9.487 * 10^3 \quad (\text{м}) \text{ БПЛА}$$

2.4 Порівняння характеристик ЛЧМ сигналу з різними типами модуляції

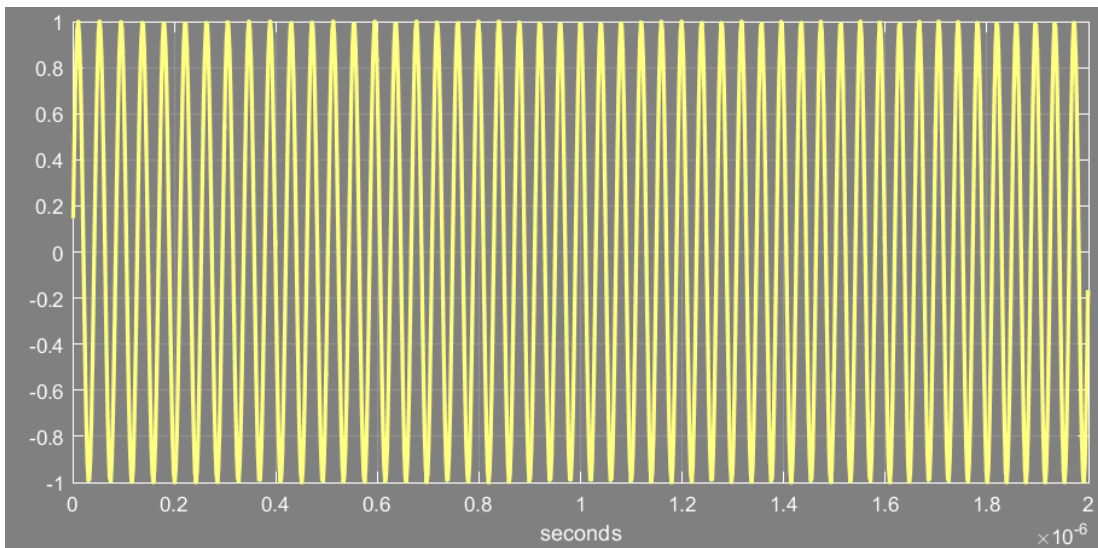
Дослідження проводилося в середовищі спеціального програмного забезпечення MATLAB.

$$\int \text{ср} = 10 \text{ ГГц, тривалістю імпульсу } t_u = 1 \text{ мкс, дев'яцією частоти } \Delta f = 60$$

1. Побудова ЛЧМ сигналу для двох різних типів модуляції: Сигнал на несучій, попередньо вказавши параметри сигналу в полі введення - Тривалість, Частота несучої, Девіація частоти .

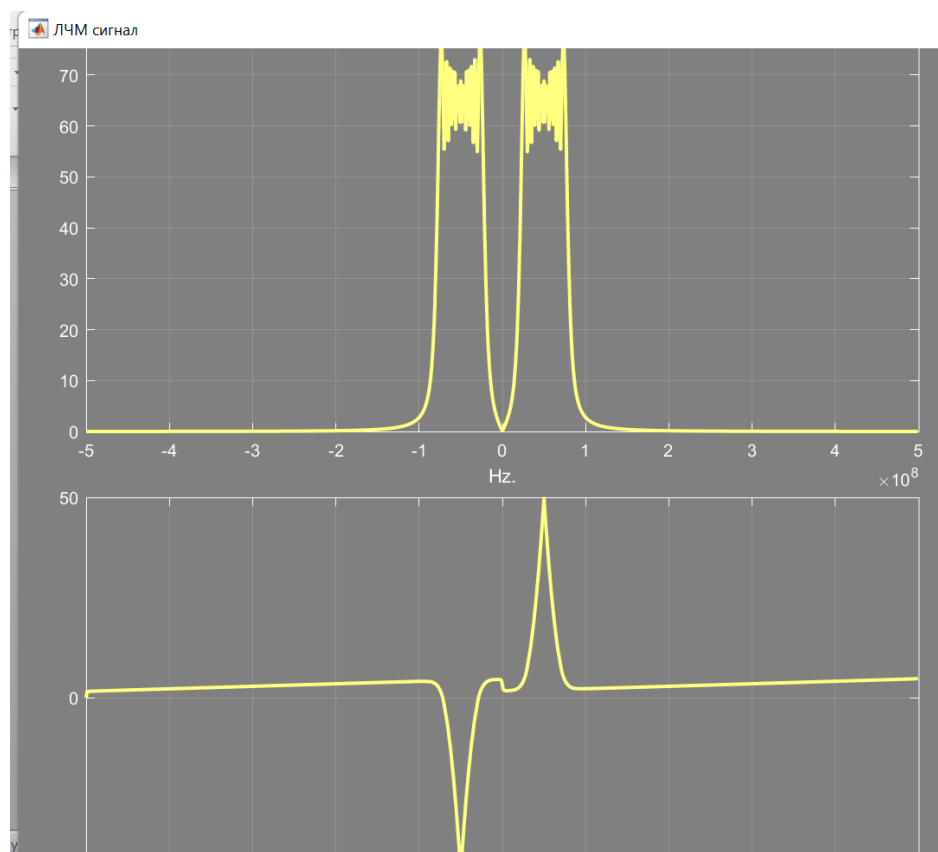


Лінійно зростаюча частота:

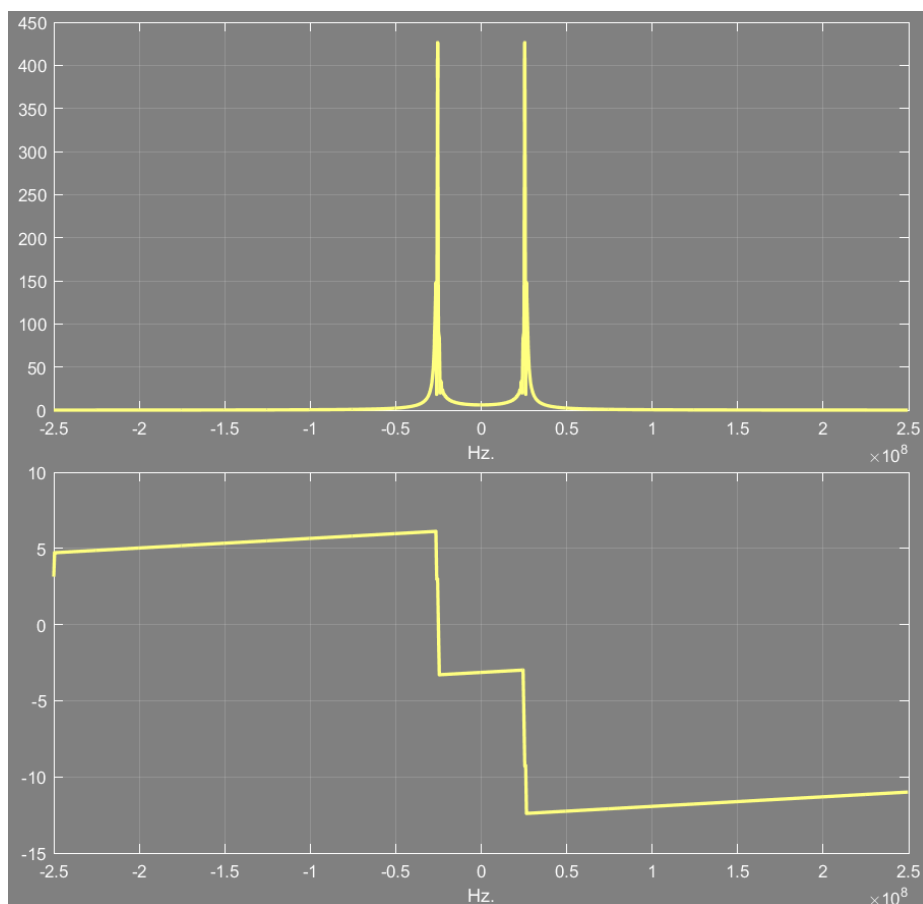


2. Побудову АЧС та ФЧС сигналу для різних типів модуляції та параметрів сигналу.

Лінійне зменшення частоти:



V-подібна зміна частоти:



3. Побудова функції невизначеності сигналу з різними законами модуляції. Визначити, графічно, характеристики роздільної здатності сигналу.

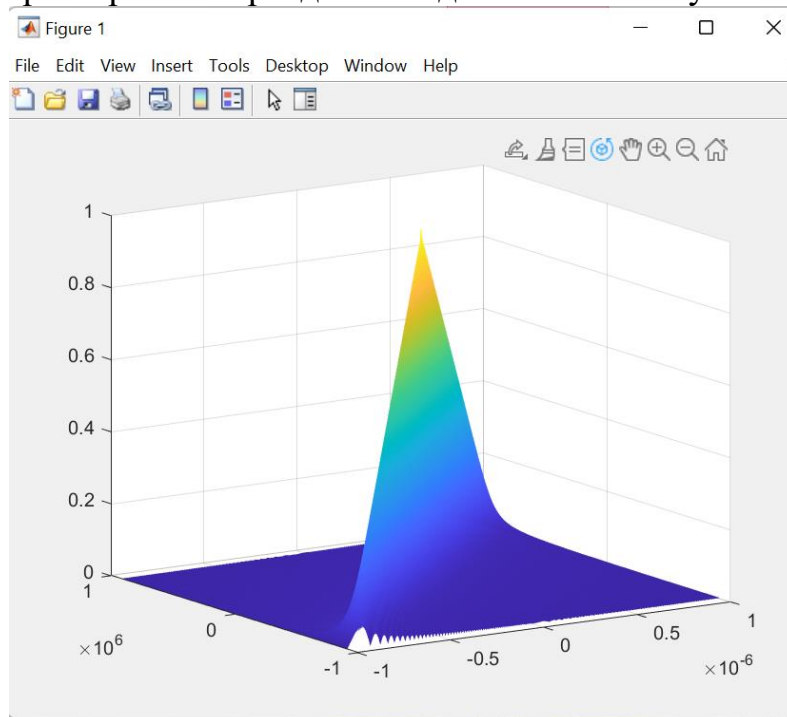


Рис. 2.5. Функція невизначеності ЛЧМ сигналу з лінійним зменшенням частоти

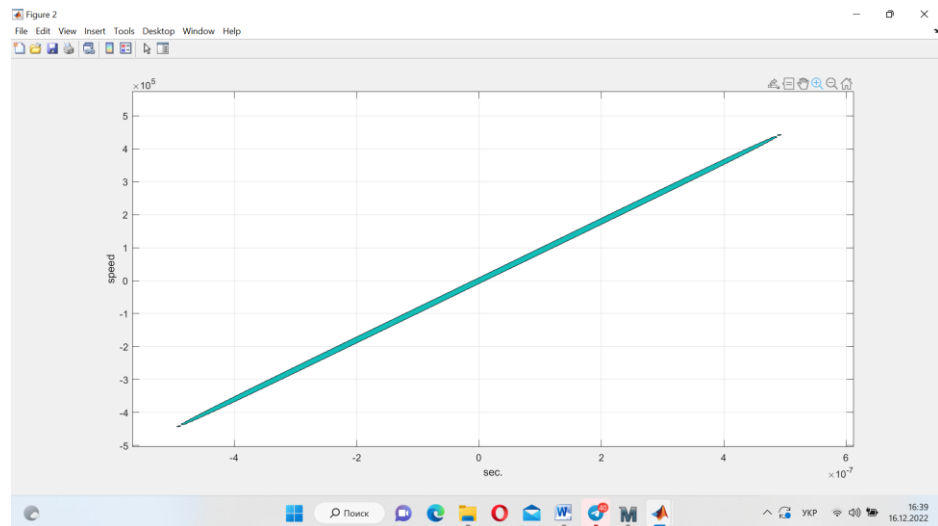


Рис.2.6. Діаграма невизначеності ЛЧМ сигналу (розтин ФН по рівню 0.5)

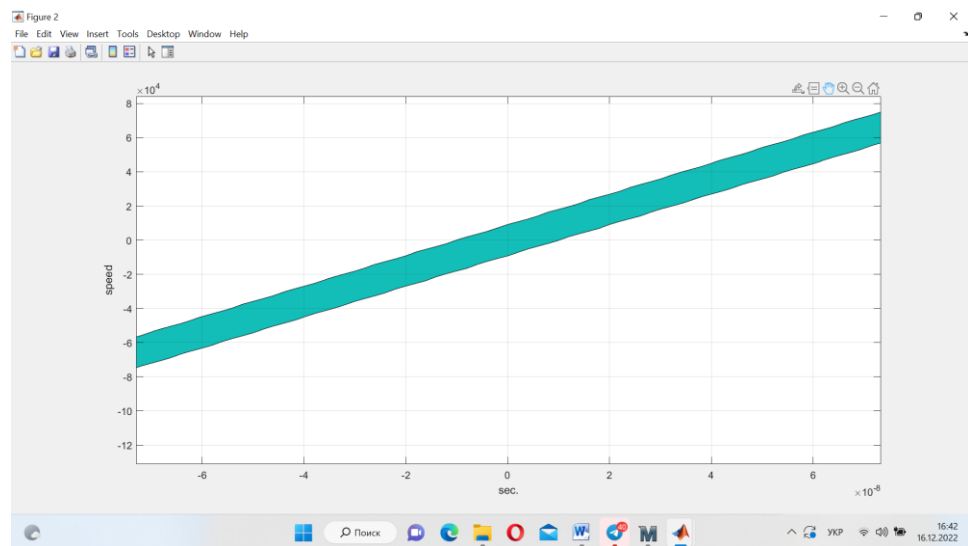


Рис.2.7. Діаграма невизначеності ЛЧМ сигналу (розтин ФН по рівню 0.5).
Збільшений масштаб

Розрахуємо потенційну роздільну здатність на основі параметрів діаграми невизначеності:

$$\Delta\tau = 1 \cdot 10^{-8} \text{ c}$$

$$\Delta r = (3 \cdot 10^8 \cdot \Delta\tau) / 2 = 2,5 \text{ м}$$

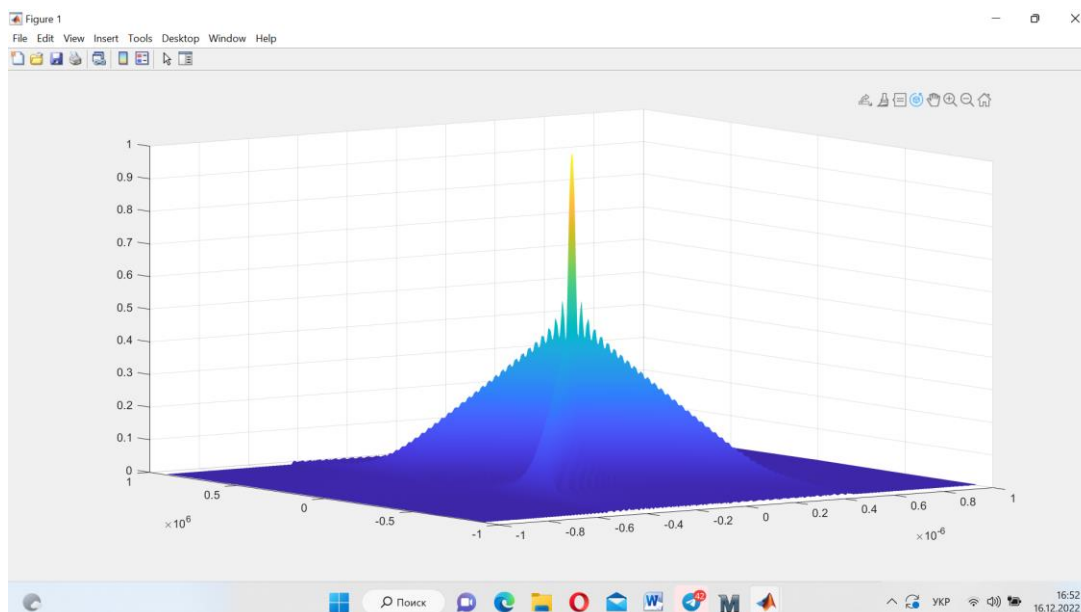


Рис. 2.8. Функція невизначеності ЛЧМ сигналу з V-подібним законом зміни частоти

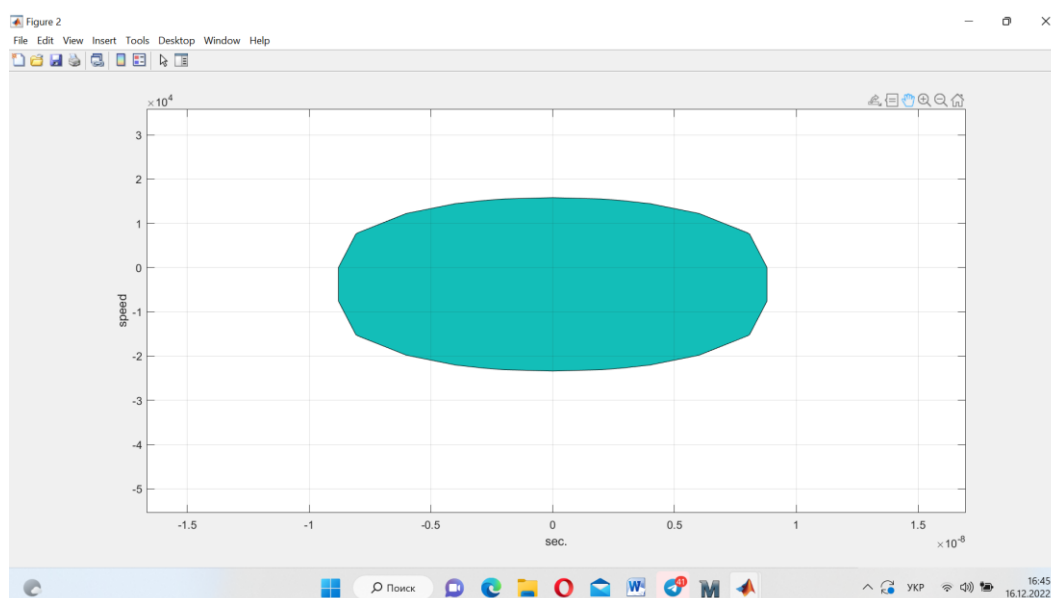


Рис.2.9. Діаграма невизначеності ЛЧМ сигналу (розти ФН по рівню 0.5).

Розрахуємо потенційну роздільну здатність на основі параметрів діаграми невизначеності:

$$\Delta\tau = 0,7 \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

$$\Delta r = (3 \cdot 10^8 \cdot \Delta\tau) / 2 = 2,1 \text{ м}$$

2.5 Висновок

В цьому розділі ми досліджували питання формування та оптимальної обробки сигналів з лінійною частотною модуляцією. Звернемо увагу, що у V-подібного ЛЧМ

дуже малий рівень бокових пелюсток, і форма ФН має голкоподібний вигляд, крім того за рахунок форми ФН V-подібного ЛЧМ з роздільна здатність краще на 30 %

підсилювач відео. Тут вони посилюються і надходять на катод електронно-променевої трубки (ІКО).

Електронно-променева трубка є вакуумною електронною лампою особливої конструкції (див. рис. 1).

Вона складається з трьох основних частин: електронної гармати з фокусуючим пристроєм, магнітної системи, що відхиляє, і скляної колби з екраном, що має властивість після-світлення.

Електронна гармата 1-2 і фокусуючий пристрій 4 формують щільний, добре сфокусований промінь електронів, а система, що відхиляє 5 служить для управління цим електронним променем.

Після проходження системи, що відхиляє, електронний промінь ударяє в екран 8, який покритий спеціальною речовиною, що володіє здатністю світитися при бомбардуванні його електронами. Внутрішня сторона широкої частини трубки покривається спеціальним шаром, що проводить (графітом). Цей шар є основним анодом трубки 7 і має контакт, на який подається висока позитивна напруга. Анод 3 - електрод, що прискорює.

Яскравість крапки, що світиться, на екрані ЕПТ регулюється зміною негативної напруги на керуючому електроді 2 за допомогою потенціометра «Яскравість». У нормальному стані трубка замкнена негативною напругою на керуючому електроді 2.

Зображення навколишнього середовища на екрані індикатора кругового огляду виходить так.

Одночасно з початком випромінювання передавачем зондувального імпульсу запускається генератор розгортки, що складається з мультівібратора (МВ) та генератора пилкоподібного струму (ГПТ), який генерує пилкоподібні імпульси. Ці імпульси подаються на систему, що відхиляє 5, має механізм обертання, який пов'язаний з приймаючим сельсином 6.

Одночасно прямокутний позитивний імпульс напруги подається на електрод керуючий 2 і відмикає її. З появою в системі, що відхиляє ЕПТ наростаючого (пилового) струму електронний промінь починає плавно відхилятися від центру до краю трубки і на екрані з'являється радіус розгортки, що світиться. Радіальний рух променя екраном

видно дуже слабо. У момент приходу відбитого сигналу потенціал між сіткою і катодом, що управляє, зростає, трубка відмикається і на екрані починає світитися точка, відповідна положенню в даний момент променя, що здійснює радіальний рух. Відстань від центру екрана до точки, що світиться, буде пропорційно відстані до об'єкта. Система, що відхиляє, має обертальний рух.

Механізм обертання відхиляючої системи пов'язаний синхронною передачею з сельсином-датчиком антени 9, тому котушка, що відхиляє, обертається навколо горловини ЕПТ синхронно і синфазно з антеною 12. В результаті цього на екрані ЕПТ з'являється радіус розгортки, що обертається.

При повороті антени повертається лінія розгортки і на екрані індикатора починають світитися нові ділянки, що відповідають імпульсам, що відбиваються від різних об'єктів, що знаходяться на різних пеленгах. За повний оборот антени вся поверхня екрану ЕПТ покривається безліччю радіальних ліній розгорток, які засвічуються тільки за наявності на відповідних пеленгах об'єктів, що відображають. Таким чином, на екрані трубки відтворюється повна картина навколишнього судна обстановки.

Для орієнтовного виміру відстаней до різних об'єктів на екрані ЕПТ наносяться шляхом електронного підсвічування, що виробляється в блоці ПКД масштабні кільця (нерухомі круги дальності). Для більш точного виміру відстані в РЛС застосовується спеціальний далекомірний пристрій з так званим рухомим колом дальності (ПКД).

Для вимірювання відстані до будь-якої мети на екрані ЕПТ необхідно, обертаючи ручку далекоміра, поєднати ПКД з міткою мети і взяти відлік в милях і десятих частках по лічильнику, механічно пов'язаному з рукояткою далекоміра.

Крім ехо-сигналів і дистанційних кілець, на екрані ЕПТ засвічується позначка курсу 10. Це досягається шляхом подачі на сітку керуючої ЕПТ позитивного імпульсу в той момент.

3.2 Алгоритм виявлення компактної групової цілі

Завдання: розрізнити ти радіолокаційного об'єкту, який був виявлений це одна ціль з великими габаритами, чи група цілей, що рухаються компактною групою.

Для цього складається матриця (азимут-дальність) для ЛЧМ сигналу з законом модуляції зі зменшенням або збільшенням частоти, з відповідною роздільною здатністю. Зазначимо r_i – дискрета дальності, яка визначається роздільною здатністю РЛС по дальності, a_m – дискрета по куту азимуту, визначається роздільною здатністю РЛС по азимуту, $i = 1 \dots N$, $N = \frac{R_{\max}}{\Delta r}$, $k = 1 \dots K$, $K = \frac{360}{\Delta \beta}$.

Матриця 1

ЛЧМ зі спадаючим законом зміни частоти

Дискрети по дальності	i+12							0	1	0	0	
	i+11							1	1	1		
	i+10							0	1	0		
	i+9							0	0	0		
	i+8			0	1	0						
	i+7			1	1	1						
	i+6			0	1	0						
	i+5											
	i+4											
	i+3											
	i+2											
	i+1											
		10		11	12	13	14	15	16	17	18	19.. 360°

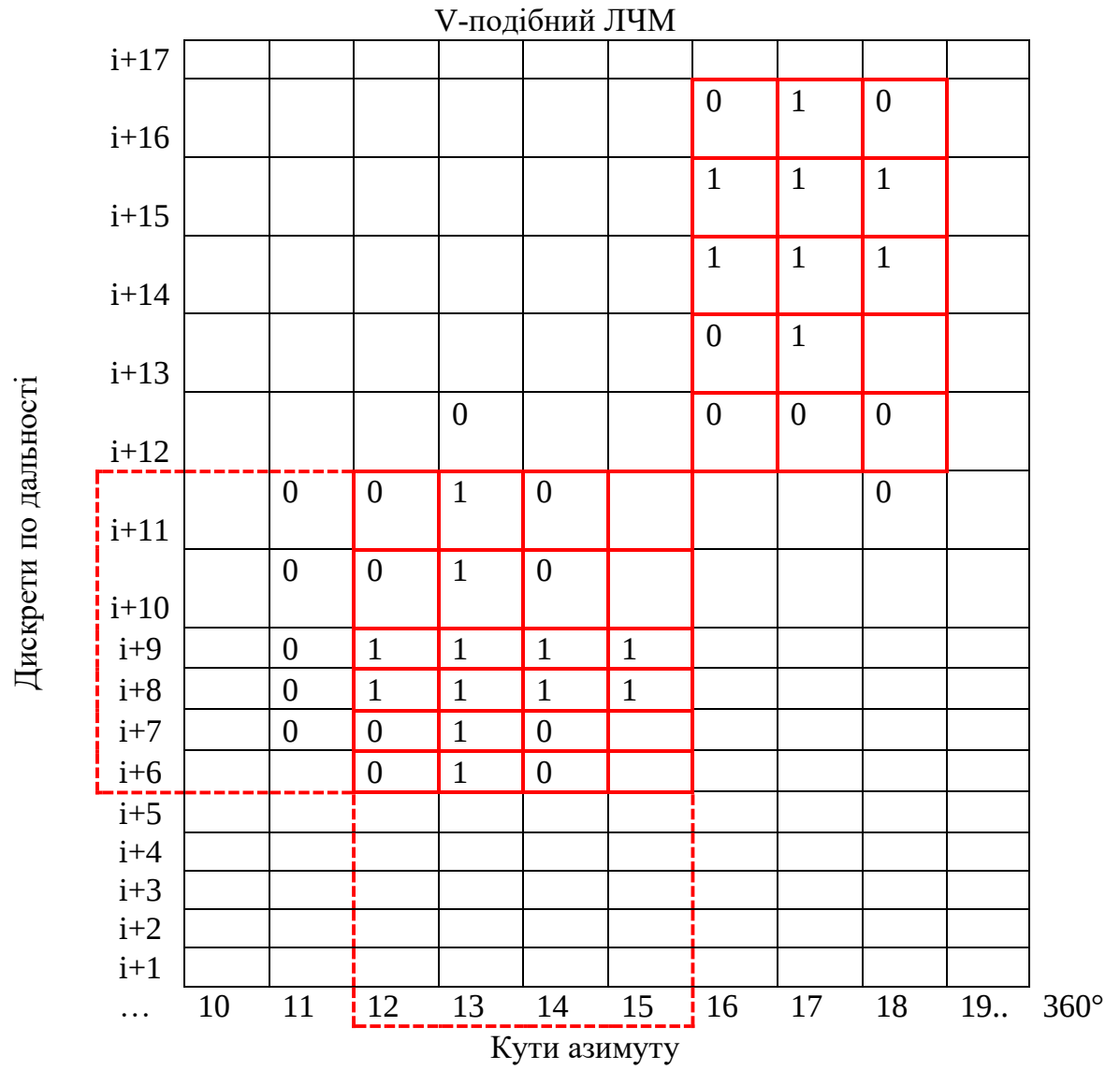
Кути азимуту

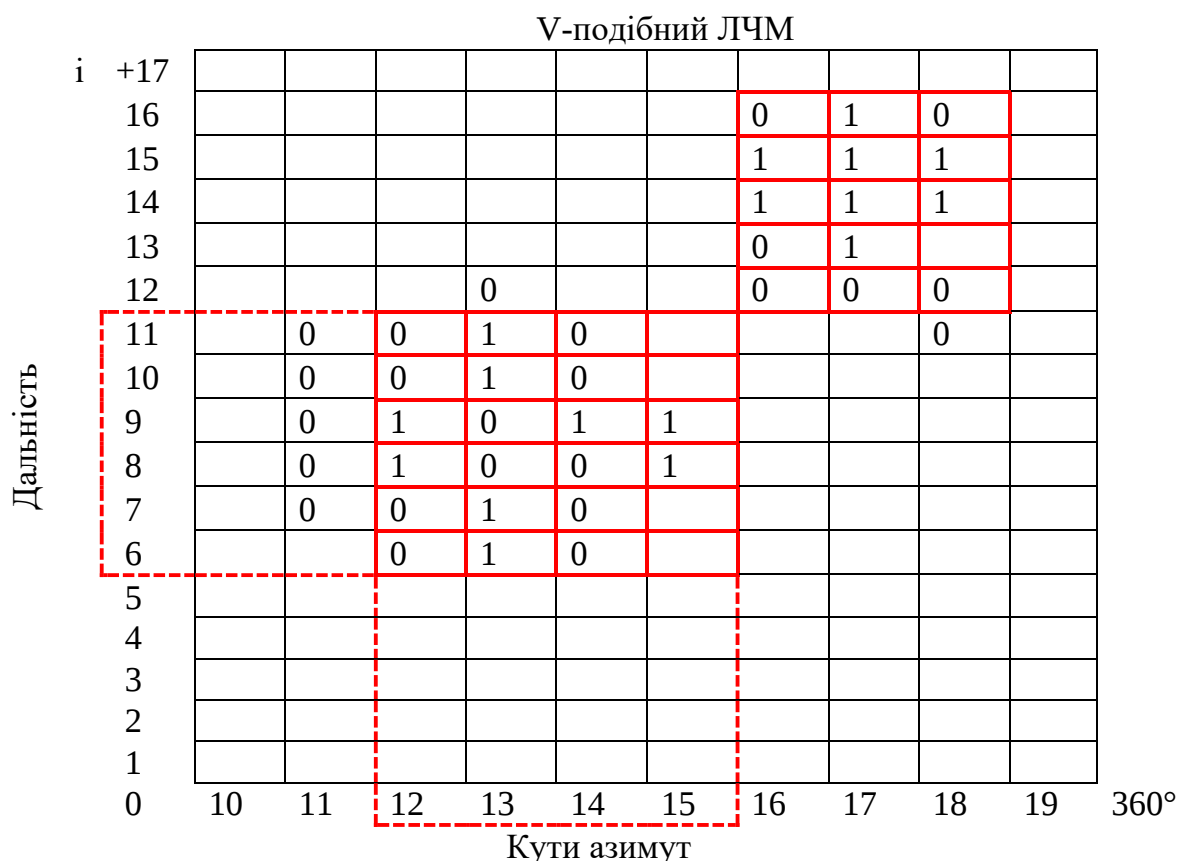
В клітинках матриці відмічають 0 або 1 відповідно виявлена чи ні відбитий сигнал від ціль в зазначеній дискрети дальності.

З урахуванням роздільної здатності РЛС і елементів матриці, можна визначити кластери в просторі, які займають радіолокаційні об'єкти.

Для класифікації об'єктів необхідно внести варіації у процес збору первинної інформації. Для цього змінено зондуючий сигнал, який має іншу (меншу) роздільну здатність, в для нього теж побудуємо матрицю (азимут-дальність). У цієї матриці дискрети дальності будуть менше, то їх кількість буде більша, і кластер простору, який займає об'єкт буде виглядати по іншому, так як N_2 більше чим N_1

Матриця для ЛЧМ V-подібним законом модуляції





В кожній матриці визначаємо прямокутний строб по крайня одиницям кластеру в вертикальній і горизонтальній площині.

В кожному стробі матриць рахуємо кількість одиниць, які будуть відображати умовну площину радіолокаційної цілі. Кількість одиниць в стробах різних матриць буде інша, але з врахуванням коефіцієнту зміни роздільної здатності, а відповідно дискрет дальності, ми отримуємо однакову площу радіолокаційних об'єктів

Площа кластерів визначається за формулою, умовно відображає площину об'єкту:

$$S = \sum_{i=d, k=p}^{D, P} \mathbf{1}(r_i, a_k)$$

де Γ_1 – дискрета дальності, яка визначається роздільною здатністю РЛС по дальності, a_m – дискрета по куту азимуту, визначається роздільною здатністю РЛС по азимуту, $i = 1 \dots N$, $N = \frac{R_{\max}}{\Delta r}$, $k = 1 \dots K$, $K = \frac{360}{\Delta \beta}$, d, D, p, P – границі кластеру відповідно в дискретах дальності і дескретах кутів азимуту.

Якщо об'єкт є одиночною ціллю то $S_1 \approx S_2$, цн видно п матриці №1 та №2

У випадку, коли радіолокаційній об'єкт є групова ціль, при застосуванні сигналу з більш кращою роздільною здатністю кластер одного і тогоже розміру буде мати більше нулі, матриця №3, у порівнянні з кластером на матриці, де сигнал гіршу роздільну здатність, матриця №1.

В результаті співвідношення значень умовної площини радіолокаційних об'єктів зміниться $S_1 \gg S_2$. Це означає, що відповідний об'єкт має групу цілей.

Заповнення кластеру в будь які матриці в кожному циклі зондування носить достатньо випадковий характер. Тому для прийняття рішення щодо класу цілі, пропонується встановити імовірну міру. Для цього приймемо, що випадкова велечина є різниця між умовними площинами радіолокаційних об'єктів $x = S_1 - S_2$, математичне очікування цієї величини буде нуль, з нормальним законом розподілу і зазначеним математичним очікуванням. Відповідно:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Математичне очікування $a=0$,

Середньо квадратичне відхилення (СКО) $\sigma=1$

$$D = \sum_k (x_k - \mu)^2$$

Де D- дисперсія випадкової величини, k- номер циклу зондування простору, μ - математичне очікування.

$$\sigma = \sqrt{D} - \text{СКО.}$$

Фізично, СКО буде показувати наскільки відрізняються умовні площини одно і того ж радіолокаційного об'єкту. В ідеальному випадку значення СКО дорівнює нулю. Тому, чим більше буде відрізнятися СКО від нуля, тим менша імовірність, що об'єкт є одиночною ціллю.

У стандартного нормального розподілу $\sigma = \sqrt{D}=1$. При, цьому значення σ приймемо за одиницю імпульсного об'єму – клітини Матриці №1.

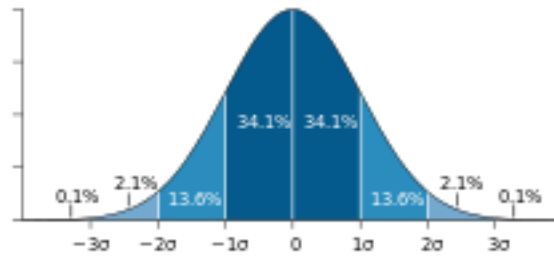


Рис.3.2 Крива нормального розподілу випадкової величини

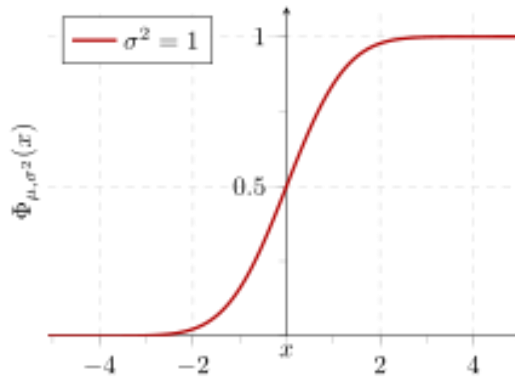


Рис.3.3 Функція імовірності нормального розподілу із математичним сподіванням 0 і стандартним відхиленням 1.

Тому виходячи з кривої розподілу випадкової величини, критеріє прийняття рішення, що радіолокаційній об'єкт є одною ціллю, то приймемо правило:

Якщо модуль x дорівнює нулю або менше одиниці то вважаємо, що ціль одинична.

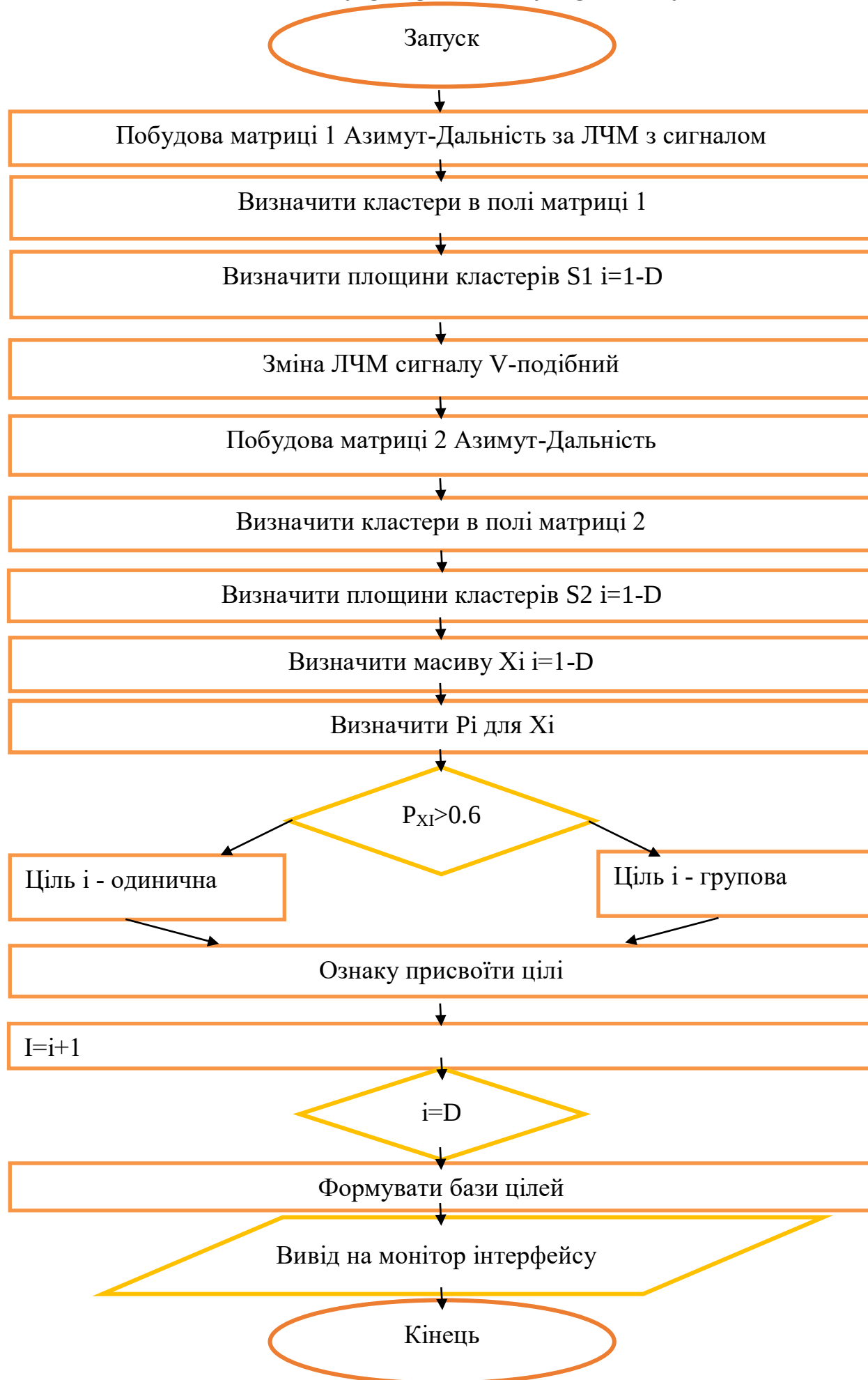
Відхилення модуль x від нуля більше чим на 1 буде означати що з імовірністю 0.68 ціль є групова,

відхилення модуля x від нуля більш чим на 2 означає що ціль групова з імовірністю 0.93.

відхилення модуля x від нуля більш чим на 3 означає що ціль групова з імовірністю 0.99.

Побудуємо алгоритм класифікації цілі одиночна або групова

БЛОК СХЕМА АЛГОРИТМУ



3.3 Висновки

Отже, запропонований алгоритм дозволяє вдосконалити роботу радіолокаційних систем і забезпечити прийняття рішення щодо класифікації цілей на одиночні і групові цілі на основі інтервальної оцінки імовірності.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Мета даного проекту – розробити та реалізувати алгоритм виявлення компактної групової цілі, використовуючи Радіолокаційні системи з лінійно-частотним модульованим сигналом. Це особливо знадобиться для військової справи. Оскільки запропонований алгоритм буде більш дієвим при загрозі груп БПЛА, винищувачів, авіаносців.

Опис ідеї стартап-проекту

Для кращого розуміння відмінності запропонованої ідеї від існуючих альтернатив, проаналізуємо можливі напрямки розвитку стартапу. Результат аналізу наведено в Табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз напрямків стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Користь для споживача
Чіткий та точний алгоритм виявлення групових цілей.	1. Використання в Проти повітряній обороні	Знешкодження цілей повітряного призначення
	2. Для видачі цілевказівок зенітно-ракетним комплексам.	Надання точних координат ворожих цілей

Наступний етап полягає в аналізі потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів. Виконаємо порівняльний аналіз показників запропонованої системи та систем конкурентів – сильних сторін (S),

слабких (W) та нейтральних (N). Результат порівняння приведено у Табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Аналіз особливостей конкурентів

№ п / п	Техніко- економічні характерист ики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів						S
		Мій прое кт	ОСА	С300	Бук			
1.	Можливість оброблюва ти сигнали	+	+	+	-			+
2.	Можливість класифікува ти сигнали	+	-	-	-			+
3.	Встановлен ня груп цілі	+	-	+	-		+	
4.	Швидкіс ть обробки пульсови х сигналів	швидко	повільно	швидко	пові льно	+		

2.1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АУДИТ ІДЕЇ ПРОЕКТУ

У рамках маркетингово аналізу був проведений аудит технологій. Оскільки проект має воєнне призначення, система використовує різні технології з багатьох сфер. Увесь перелік технологій наведений у Табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Технологічний аудит

№ п / п	Ідея проекту	Технології та реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Алгоритм компактної групової цілі	РЛС Борсук	+	Для військ
2.		РЛС Пелікан	+	Для військ
3.		РЛС 36Д6-М	+	Для військ

За результатами аналізу Табл. 4.3 робимо висновок, що усі технології, які необхідні для розробки стартап-проекту є у наявності та використовуються лише у військовій справі, тобто мають вузьку направленість і виготовлятимуться лише для оборони нашої держави, тож можна вільно працювати з ними без зайвих проблем.

4.2 АНАЛІЗ РИНКОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАПУСКУ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Для продовження розвитку стартапу необхідно проаналізувати ринкові можливості. Для цього проаналізуємо попередню характеристику потенційного ринку на Табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Аналіз ринкових можливостей

№ п / п	Показники стану ринку(найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	150000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу(вказати характер обмежень)	Для військового призначення
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Особливі вимоги довійськової таємниці
6	Середня норма рентабельності в галузі(або по ринку), %	70%

Середня норма прибутку в галузі (або на ринку) порівнюється з банківським відсотком на інвестиції. Якщо остання є вищою, можливо, є сенс інвестувати в інший проект.

Наступним кроком досліджуємо власних клієнтів та їх характеристики. Перелік даних наведено у Табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Аналіз потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Класифікація стиснутих зображень	Військові, що залучені для оборони	Мета якомога точніше виявити повітряні цілі	• Точність • Коефіцієнт знищення цілей
	Військові, що залучені для нападу	Якомога точніше виявити координати військових цілей	• Ефективність використання • Точність наведення

Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (Табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Фінансовий криза	Через нестабільну економічну ситуацію може збільшитися інфляція	Збільшення ціни, дефіцит запчастин
Зміни тенденцій ринку	Поява більш досконалої програмної системи від конкурентів, які значно довше на ринку.	Спроба розробити нові необхідні сучасні удосконалення, тобто додання або заміна старого функціоналу на можливості розрахунку нових параметрів.
Зниження ділової репутації	Конкуренти спроможуться на більший попит.	Більш дієвий алгоритм.

ї компані ї		
-------------------	--	--

Наступним кроком визначаємо загальні риси конкуренції на ринку, аналізувати фактори можливостей (Табл. 4.7).

Таблиця 4.7 - Аналіз факторів можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Технологічний розвиток у сфері воєнного призначення	Значне зростання популярності технологічних рішень ввійськовій справі	Заохочення все більшої кількості військових у використанні продукту
Збільшення ефективності	Кращий алгоритм виявлення групової цілі	Удосконалення інновій РЛС

Далі проводимо аналіз пропозиції – визначаємо загальні риси конкуренції на ринку, а саме визначаємо тип можливої майбутньої конкуренції та її інтенсивність, рівень конкурентоспроможності за рівнем конкурентної боротьби, видами товарів і галузевою ознакою (Табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Аналіз пропозицій

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції	Чиста Характеристика показує себе у кількості конкурентів	Покращення власного продукту через удосконалення продукту
За рівнем конкурентної боротьби	Локальний Наскільки крупна боротьба	Чим більше гравець, тим тяжче з ним боротися

За галузевою ознакою	Внутрішньо галузева Сфера діяльності військового призначення	Конкуренти з однієї сфери мають фінансовий вплив один на одного
Конкуренція за видами товарів	Товарно-технічна Спосіб продажу установок	Різновид алгоритму та цілей
За характером конкурентних переваг	Нецінова	Надання функцій, які не надають конкуренти
За інтенсивністю	Марочна	Надання функцій, які не надають конкуренти

Після аналізу конкуренції проводимо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (Табл. 4.9) - за моделлю п'яти сил М. Портера, який вирізняє п'ять основних факторів, що впливають на привабливість вибору ринку з огляду на характер конкуренції:

- конкурент, що вже є у галузі;
- потенційні конкуренти;
- наявність товарів-замінників;
- постачальники, що конкурують за ринкову владу;
- споживачі, які конкурують за ринкову владу.

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Конкуренти, що класифікують ЛЧМ сигнали	Краща ефективність розпізнавання цілей	Кращі терміни постачання	Довга співпраця на сервісних умовах	Інші методи класифікації

Висновки	Визначити інтенсивність конкурентної боротьби	Умови виходу на ринок хороші	Клієнти диктують умови роботи	Клієнти як основні споживачі мають значний вплив	Обмеження для роботи на ринку через товари заміники
----------	---	------------------------------	-------------------------------	--	---

Проаналізувавши на основі аналізу конкуренції за М. Портером, проведеного у таблиці 4.9 можна відмітити гарні умови виходу на ринок й мінімальний вплив конкурентів. Проте варто все рівно приділяти багато уваги на РЛС системи та точність обробки ЛЧМ сигналів.

Далі обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності (Табл. 4.10).

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	функціональність	Основною перевагою проекту є те, що вона може одночасно класифікувати та виявляти групові цілі
2	Доступність	Система доступна лише на РЛС з ЛЧМ сигналом
3	Актуальність	Система використовує сучасні радіолокаційні методи

За визначеними факторами конкурентоспроможності (Табл. 4.10) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (Табл. 4.11).

Таблиця 4.11 – Аналіз слабких та сильних сторін проекту у порівнянні

№ п / п	Фактор конкурентоспроможності	Ба ли 1- 20	Рейтинг товарів- конкурентів у порівнянні з розробленим проектом						
			- 3	- 2	- 1	0	+1	+2	+3
1	функціональність	19	+						
2	Доступність	19				+			

3	Актуальність	19				+			
---	--------------	----	--	--	--	---	--	--	--

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (Табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (Табл. 4.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складемо на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.12 - проектний SWOT-аналіз

Сильні сторони (S): - сучасні радіолокаційні методи - легкість підтримки - доступність системи	Слабкі сторони (W): - Має малу функціональність для сигналів іншого типу - недостатня точність класифікації одиничних цілей
Можливості (O): - відсутність повноцінних альтернатив - сумісна робота з військовими установами - покращення функціональності	Загрози (T): - поява нових конкурентів - незацікавленість воєнних установ - обмеженість функцій

Тепер проаналізуємо альтернативи ринкового впровадження у Табл. 4.13.

Таблиця 4.13 - Аналіз альтернатив ринкового впровадження

№п/п	Альтернатива	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
------	--------------	--------------------------------	-------------------

1	Орієнтація та вихід на інші сфери діяльності	Зацікавлені інвестори	від 1-го року
2	Розмежування системи	Зацікавлені інвестори	3-6 місяці

Можна зробити висновок, що почати варто зі спеціалізованої сфери діяльності, після чого можна думати про декомпозицію системи.

РОЗРОБЛЕННЯ РИНКОВОЇ СТРАТЕГІЇ

Для розроблення ринкової стратегії першим кроком визначимо стратегію охоплення ринку : опис цільових груп потенційних споживачів у Табл.4.14.

Таблиця 4.14 - Аналіз охоплення ринку

№ п / п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Медики	Потребують	Є попит	Слабка	Легко
2	Директора	Потребують	Є попит	Слабка	Помірно

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку, яка визначається у Табл. 4.15.

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ П / П	Обрана альтернати варозвитку проекту	Стратегі я охоплен няринку	Ключові конкурентоспромож ніпозиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Розповсюджен няна військову сферу	Стратегія концентровано го маркетингу	Виділення системи за допомогою точності класифікації	Стратегія концентр ованого маркетин гу

Першим кроком у розробці ринкової стратегії є стратегія охоплення ринку, яка включає в себе опис потенційних споживачів.

На основі аналізу ринкових можливостей та факторів загроз було складено перелік ринкових можливостей та ринкових загроз. Аналіз ринкового середовища проводився після визначення потенційних споживачів.

Наступним кроком є вибір конкурентної стратегії (Табл. 4.16).

Таблиця 4.16 - Аналіз стратегії конкурентної поведінки

№ п / п	Чи є проект “першопроходцем” на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів ?	Чи буде компанія копіювати основні характеристи китовару конкурента, і які?	Стратегія конкурентн ої поведінки*
	Ні	Шукати нових	Ні	Стратегія заняття конкурентн ої ніші

Далі у Табл. 4.17 визначимо стратегії позиціонування. На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до програмного продукту, а також залежно від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки необхідно розробити стратегію позиціонування (Табл. 4.17), яка полягає у формуванні ринкової позиції, за якою споживачі повинні ідентифікувати бренд або проект.

Таблиця 4.17 - Аналіз стратегії позиціонування

1	Швидкий, точний та достовірний	Стратегія концентровано го маркетингу	Якомога точніше класифікувати обробку пульсових сигналів. Зрозуміло інтуїтивно без інструкцій	- Економія часу - Зручність застосування
---	--------------------------------	---------------------------------------	---	---

В результаті аналізу даних, що приведені вище, можна узгодити поведінку стартап-компаній у заданій системі рішень.

Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком під час розробки маркетингової програми стартап- проекту сформуємо маркетингову концепцію товару. Для цього у Табл. 4.18 підсумуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 - Ключові переваги концепції товару потенційного

№ п / п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Зручність застосування	Не вимагається специфічних знань для використання Алгоритму	Використання Алгоритму не вимагає від користувача зайвих дій для функціонування системи

Далі розробимо три-рівневу маркетингову модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (Табл. 4.19).

1-й рівень При формуванні задуму товару вирішується питання щодо того, засобом вирішення якої потреби і/або проблеми буде даний товар, яка його основна вигода. Дане питання безпосередньо пов'язане з формуванням

технічного завдання в процесі розробки конструкторської документації на виріб.

2-й рівень Цей рівень являє собою рішення того, як буде реалізовано товар на ринку; включає в себе якість, властивості, дизайн, упаковку, ціну й рівень Товар з підкріпленням (супроводом) - додаткові послуги та переваги для споживача, що створюються на основі товару за задумом і товару в реальному виконанні (гарантії якості, доставка, умови оплати тощо).

Таблиця 4.19 - Аналіз маркетингової моделі продукту

Рівні товару	Сутність та складові
Товар за задумом	Алгоритм виявлення компактної групової цілі
Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	Реалізовано систему РЛС ЛЧМ сигналів. Реалізовано алгоритм виявлення цілей.
Товар із підкріпленням	Якість: перевірка пройдена успішно
	До продажу: стандартна розроблена система
	Після продажу: збагачення функціоналу

Табл. 4.20.

Таблиця 4.20 - Межі встановлення цін

№ п / п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Високий	Високий	Середній	Середній

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (Табл. 4.21): чи потрібно проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників, вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту, вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21 - Система збуту

№ п / п	Специфіка закупівельн ої поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальни ктовару	Глибина каналу збуту	Оптимальн а система збуту
1	Бажання зменшити ризик невірного діагнозу	Вивчення та набуття бази клієнтів	Одне виробницт во	Система вертикально го маркетингу

Останнім кроком у розробці маркетингової програми є проектування концепції маркетингових комунікацій (Табл. 4.22).

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингової комунікації

№ п / п	Поведін ка цільови х клієнтів	Канали комунікац ій цільових клієнтів	Ключові позиції, обрані для позиціонуван ня	Завдання рекламного повідомлен ня	Концепці я рекламно го звернення
1	Бажанн я зменши тиризик невірн ого визначе ння	Усі	Якість класифікац ії, ступінь обробки цілей	Приваби ти найбільш у кількість клієнтів	Концепція концентровано го звернення

Результатом аналізу стала ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

Висновки до розділу 4

У цьому розділі розглянуті основні пункти стартап-проекту: опис ідеї проекту, технологічний аудит проекту, аналіз ринкових можливостей запуску проекту, розроблення ринкової стратегії проекту, розробка маркетингової ідеї проекту.

Робимо висновок, що стартап проект завершений та готовий до презентації.

ВИСНОВКИ

Було розглянуто види сучасних РЛС, а саме тенденції розвитку, різновид сучасних РЛС, та способи виявлення рухомих цілей. Виявили, що сучасні тенденції розвитку РЛС полягають насамперед у створенні різних типів РЛС в залежності від поставлених на них задач. Різновид сучасних РЛС вкрай різноманітний, будь-то РЛС для виконання військових цілей, чи цивільних.

Ми дослідили питання формування та оптимальної обробки сигналів з лінійною частотною модуляцією. Звернемо увагу, що у V-подібного закону модуляції ЛЧМ дуже малий рівень бокових пелюсток, і форма ФН має голкоподібний вигляд, крім того за рахунок форми ФН V-подібного закону модуляції ЛЧМ з роздільна здатність краще на 30 % (при відношенні сигнал\шум більше 10 дБ)

Запропонований алгоритм дозволяє вдосконалити роботу радіолокаційних систем, і забезпечити класифікацію цілей на одиночні і групові.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. MG995 [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-mechanics/servo-mg995/>
2. Радіотехніка / За ред. Ю. Л. Мазора, Є. А. Мачуського, В. І. Правди. Київ : Вища школа, 1999. 838 с.
- Skolnik M. I. Radar Handbook. 3rd ed. New York : McGraw Hill, 2008. 1352 p.
3. Питання статистичної теорії радіолокації, под ред. Г. П. Тартаковського, т. 1—2, М., 1973—74.
4. Мікроконтролер Atmega328P [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://rudatasheet.ru/datasheets/atmega328/>
5. RadioUniverse [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://www.radiouniverse.ru/book/ionosfera-i-ee-issledovanie/glava-chetvertaya-effektkabanova>
6. Сучасна радіолокація, перекладено. з англ., М., 1969
7. J. Hereford and B. Edgerly. 457kHz Electromagnetism and the Future of Avalanche Transceivers (англ.) // International Snow Science Workshop (ISSW 2000) : journal. — 2000.
8. Бойко І.Ф. Застосування методу стохастичних інтегральних зображень для опису відбиття радіолокаційних сигналів від розподілених об'єктів // Вісник НАУ, № 1. – К.: НАУ, 2004. – С. 12 – 17.
9. Військова розвідка / За ред. В. Б. Добровольського. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. 335 с.
10. Grekhov A. M. Recent Advances in Satellite Aeronautical Communications Modeling. Hershey : IGI Global Engineering Science Reference, 2019. 313 p.
11. Радар [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%80#cite_refslyusarsmartantenna1_3-0

12. Грехов А. М. Радіолокаційна станція // Велика українська енциклопедія. [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://vue.gov.ua/Радіолокаційна станція>. 106
13. РЛС «Барсук – А» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <http://ust.com.ua/uk/item/rls-barsuk-a-2/>
14. Радіолокаційні станції розвідки рухомих цілей міліметрового діапазону [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produktsiya/tehnika-pvo/rls/104->
15. Мобільний трикоординатний радіолокатор 36Д-6 [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produktsiya/tehnika-pvo/rls/98->
16. Мобільно дво-координатна когерентно-імпульсна РЛС кругового огляду «Дельта» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produktsiya/tehnika-pvo/rls/102->
17. Радіолокаційна станція П-190У [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: [https://uos.ua/produktsiya/tehnika-pvo/rls/108-](https://uos.ua/produktsiya/tehnika-pvo/rls/108-radiolokatsionnayastantsiya-p-190u)
- radiolokatsionnayastantsiya-p-190u 18. Мобільна станція дальньої радіотехнічної розвідки «Кольчуга» [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produktsiya/tehnika-pvo/rls/111-> 19.
- Модернізований рухомий радіовисотомір ПРВ-16МА [Електронний ресурс] – Електрон. дан. – Режим доступу: <https://uos.ua/produktsiya/tehnika-pvo/rls/110->