

Є. В. Калініченко, О. І. Россомаха, О. В. Колеснік,
Г. Г. Томчаковський, С. Л. Хлебніков

Міжнародні правила запобігання зіткненню суден на морі та використання радіолокаційних систем і засобів автоматичної радіолокаційної прокладки при розходженні суден

Частина 2. ВИКОРИСТАННЯ РЛС і АРПА



Міністерство освіти і науки України
Одеський національний морський університет
Навчально-науковий інститут морського флоту
Кафедра «Навігації і керування судном»

**Міжнародні правила запобігання
зіткненню суден на морі та використання
радіолокаційних систем і засобів
автоматичної радіолокаційної
прокладки при розходженні суден**

Навчальний посібник

**Частина 2.
ВИКОРИСТАННЯ РЛС і АРПА**

За загальною редакцією Є. В. Калініченка

Одеса – 2026

УДК 341.96:347.799.1 (083.132)

Рекомендовано до друку Вченою радою Одеського національного морського університету, протокол № 2 від 26 серпня 2026 р.

Рецензенти: **ГОЛКОВ Володимир Володимирович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри навігації і керування судном ОНМУ, КДП, професор Харбінського інженерного університету, дійсний член (академік) Транспортної академії України;
ТОВСТОКОРИЙ Олег Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, КДП, завідувач кафедри навігації та управління судном Херсонської державної морської академії Міністерства освіти і науки України, м. Херсон;
ПАНЬКОВ Юрій Борисович, ШДП, директор дочірнього підприємства «Глобал Марін Сервіс» компанії «Джі-Ем-Ес Марін Сервіс Лімітед»

**Міжнародні правила запобігання зіткнення суден на морі та використання радіолокаційних систем і засобів автоматичної радіолокаційної прокладки при розходженні суден: навчальний посібник. Ч. 2. Використання РЛС і АРПА / За заг. ред. Є. В. Калініченка. – Одеса : НУ «ОМА», 2026. – 274 с.
ISBN 978-617-7857-36-4**

У другій частині навчального посібника розглянуто сучасні засоби радіолокаційного забезпечення судноводіння, принципи роботи судових радіолокаційних станцій, АРПА, AIS та інтегрованих навігаційних систем. Висвітлено особливості радіолокаційного спостереження, оцінювання ризику зіткнення, вибору маневру та дій в умовах обмеженої видимості.

Окрему увагу приділено інтеграції радіолокаційної інформації та вимог МПЗЗС-72 у процесі управління судном. Показано взаємозв'язок між радіолокаційною картиною руху, оцінюванням навігаційної ситуації та прийняттям рішень судноводієм.

Посібник призначений для курсантів і студентів морських навчальних закладів, судноводіїв, викладачів морських дисциплін і фахівців у сфері навігаційного забезпечення судноплавства.

УДК 341.96:347.799.1 (083.132)

Авторський колектив представлено співробітниками кафедри «Навігація і керування судном» Одеського національного морського університету:

КАЛІНІЧЕНКО Євгеній Володимирович – капітан далекого плавання, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри;
РОССОМАХА Олена Ігорівна – кандидат технічних наук, доцент;
КОЛЕСНИК Олександр Володимирович – капітан далекого плавання, старший викладач;
ТОМЧАКОВСЬКИЙ Георгій Георгійович – капітан далекого плавання, старший викладач;
ХЛІБНИКОВ Сергій Леонідович – яхтовий капітан, завідувач лабораторії яхтингу.

Авторських аркушів: 9,21

Авторських аркушів на кожного автора: 1,84

ISBN 978-617-7857-36-4

© Є. В. Калініченко, О. І Россомаха,
О. В. Колеснік, Г. Г. Томчаковський,
Л. С. Хлебніков, 2026

ЗМІСТ

ВІД АВТОРІВ	8
РОЗДІЛ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РАДІОЛОКАЦІЇ.....	9
1.1. Фізичні принципи радіолокації та формування радіолокаційного зображення	10
1.1.1. Вимірювання дальності	11
1.1.2. Визначення пеленга (Bearing Measurement)	14
1.1.3. Точність визначення дальності та пеленга	16
1.1.4. Формування радіолокаційного зображення.....	17
1.1.5. Основні компоненти суднового радіолокатора	21
1.1.6. Довжина імпульсу та частота повторення імпульсів (PRF)	22
1.1.7. Роздільна здатність за дальністю (Range discrimination).....	24
1.1.8. Роздільна здатність за пеленгом (Bearing discrimination).....	26
1.1.9. Спотворення радіолокаційного зображення.....	26
1.2. Радіолокаційний горизонт	28
1.2.1. Співвідношення геометричного, оптичного та радіолокаційного горизонтів.....	29
1.2.2. Рефракція та її вплив на поширення радіохвиль	30
1.2.3. Субрефракція та суперрефракція	32
1.2.4. Каналювання радіохвиль (ducting)	33
1.2.5. Узагальнення впливу атмосфери на роботу РЛС	34
1.3. Хибні відмітки та перешкоди.....	35
1.3.1. Повторні відбиття від конструкції судна	36
1.3.2. Повторні відбиття від інших об'єктів	38
1.3.3. Багатократні відбиття.....	41
1.3.4. Відмітки другого проходження (Second trace echoes).....	42
1.3.5. Перешкоди від інших радіолокаторів та природні відмітки	44
1.3.6. Інтерпретація сумнівної інформації	45
1.4. Відбивні властивості цілей і стабільність їх відображення.....	46
1.4.1. Кут (аспект) відбивної поверхні	46
1.4.2. Текстура поверхні.....	47
1.4.3. Матеріал відбивної поверхні.....	48
1.4.4. Розміри цілі	49
1.4.5. Ефективна площа розсіювання (Radar Cross Section).....	51

1.4.6. Радіолокаційні відбивачі.....	54
1.4.7. Активні засоби підсилення радіолокаційного відбиття	56
1.4.8. Активні засоби підсилення радіолокаційної відповіді (RTE і SART).....	57
1.5. Узагальнення принципів радіолокаційного спостереження	59
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ.....	61
2.1. Передавальний тракт радіолокатора.....	61
2.1.1. Пристрій запуску (Trigger)	62
2.1.2. Модулятор	63
2.1.3. Магнетрон	64
2.1.4. Робочий цикл передавача (Duty Cycle)	66
2.1.5. Пікова та середня потужність	66
2.1.6. Вплив параметрів імпульсу на роботу передавача та якість виявлення цілей	67
2.2. Антенна система (Scanner)	68
2.2.1. Конструкція антени та радіолокаційний промінь	69
2.2.2. Щілинна хвильовода антена: конструкція та принцип дії	70
2.2.3. Регулювання випромінювання в щілинній антені та вплив залишкової енергії.....	71
2.2.4. Діаграма спрямованості та ширина радіолокаційного променя	72
2.2.5. Вертикальна структура променя та вплив морської поверхні....	74
2.2.6. Конструктивне компонування антенної системи.....	76
2.2.7. Передача інформації про напрямок антени	77
2.2.8. Розміщення антени на судні та пов'язані спотворення	77
2.2.9. Перспективні антенно-скануючі системи.....	81
2.3. Приймальний тракт і обробка сигналу	82
2.3.1. Перетворення частоти та підсилення сигналу	83
2.3.2. Детектування, відеообробка та формування зображення	84
2.4. Обробка радіолокаційних сигналів у умовах завад	85
2.4.1. Кореляційна обробка сигналів	86
2.4.2. Морські та дощові завади: природа і способи пригнічення	86
2.4.3. Автоматичне пригнічення завад і роль судноводія	91
2.5. Засоби відображення та типи індикації	94
2.5.1. Розвиток засобів відображення.....	94

2.5.2. Сучасні засоби відображення та принципи їх реалізації	97
2.6. Керування та налаштування радіолокаційної станції.....	99
2.6.1. Оперативні керування та обробка сигналу	100
2.6.2. Системні налаштування та завершення	102
2.7. Налаштування суднового радіолокатора під навігаційну задачу	102
2.7.1. Початкове налаштування та введення радіолокатора в роботу	104
2.7.2. Точне налаштування та перевірка параметрів вимірювання	105
2.7.3. Робочі функції індикатора та допоміжні засоби	112
2.8. Сучасні радіолокаційні технології.....	114
2.8.1. Стиснення імпульсу та особливості обробки сигналу	114
2.8.2. Особливості експлуатації та налаштування	115
РОЗДІЛ 3. РАДІОЛОКАЦІЙНА ПРОКЛАДКА ТА АВТОМАТИЗОВАНІ ЗАСОБИ ОЦІНКИ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ	118
3.1. Основи відносного руху та радіолокаційної прокладки	118
3.1.1. Побудова відносного руху	119
3.2. Методи ручної прокладки і їх обмеження	123
3.2.1. Прокладка у режимі «Head-Up»	128
3.2.2. Прокладка при зміні курсу судна.....	130
3.2.3. Вплив маневрів власного судна на прокладку	131
3.2.4. Вибір маневру для забезпечення безпечного розходження	133
3.2.5. Побудова істинного руху (True Motion)	135
3.2.6. Вплив течії та зносу (Set and drift).....	137
3.2.7. Потенційні точки зіткнення (PCP).....	140
3.2.8. Урахування інерції судна (headreach)	142
3.2.9. Урахування затримки при зміні курсу і швидкості.....	145
3.3. Автоматизована радіолокаційна прокладка (ARPA).....	147
3.3.1. Налаштування та перевірка вхідних даних ARPA.....	148
3.3.2. Основи використання ARPA для попередження зіткнень.....	150
3.3.3. Використання ARPA для навігації.....	152
3.4. Супроводження цілей і прогнозування їх руху	154
3.4.1. Зберігання даних та допоміжні алгоритми обробки.....	156
3.4.2. Помилки супроводження та особливості відображення векторів.....	158
3.4.3. Попереджувальна сигналізація та обмеження автоматизованих функцій	160

3.5. Похибки радіолокаційної та ARPA-інформації.....	163
3.5.1. Похибки, пов'язані з відбиттям сигналу та рухом антени.....	165
3.5.2. Похибки визначення положення та обробки руху цілі.....	167
3.6. Інтеграція AIS у систему оцінки навігаційної обстановки.....	170
3.6.1. Інформація, що передається та приймається системою AIS	172
3.6.2. Використання AIS у системах управління рухом суден (VTS)	173
3.6.3. AIS-повідомлення та принципи обміну даними	174
3.6.4. Особливості побудови та інтеграції AIS на судні	176
3.6.5. Оцінка інформації радіолокації та AIS у задачах попередження зіткнень.....	179
3.6.6. Використання AIS у контексті МПЗЗС та узгодження з радіолокаційними даними	181
3.6.7 Особливості використання AIS: обмеження, відключення та розвиток системи.....	184
3.7. Інтеграція радіолокаційної інформації з ECDIS (єдина інформаційна картина)	185
3.7.1. Радар як резервний засіб визначення місця судна (через кореляцію з ENC-об'єктами).....	186
3.7.2. Радар із картографічною підкладкою (Chart Radar) та організація відображення навігаційної інформації.....	188
3.8. Оцінка навігаційної обстановки відповідно до МПЗЗС-72	189
РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЛОКАЦІЇ ПРИ РОЗХОДЖЕННІ СУДЕН	191
4.1. Використання радіолокатора у навігації.....	191
4.1.1. Визначення місця судна.....	191
4.1.2. Прибережне плавання (Coastal Navigation)	193
4.1.3. Визначення пеленгів за допомогою радара (Bearings by Radar)	194
4.1.4. Накладання радарного зображення (Chart Overlay).....	197
4.1.5. Обмеження та особливості використання накладання радарного зображення.....	200
4.1.6. Паралельне індексування (Parallel Indexing, PiL)	202
4.2. Зміна курсу (Alteration of Course).....	212
4.2.1. Зміна курсу в обмежених водах (Altering Course in Restricted Waters).....	212
4.2.2. Поворот із постійною швидкістю та постійним радіусом (Constant Rate Turn and Constant Radius Turn).....	214

4.2.3. Концентричне індексування.....	218
4.2.4. Приклад виконання повороту за радіолокаційними даними	221
4.2.5. Додаткові радіолокаційні інструменти керування	230
4.2.6. Точне позиціювання при маневруванні	230
4.2.7. Планування та контроль траєкторії руху	232
4.3. Радіолокаційне забезпечення розходження суден.....	234
4.3.1. Типові помилки інтерпретації радіолокаційної інформації.....	234
4.3.2. Застосування даних	236
4.3.3. Вибір дій для уникнення небезпечного зближення	238
4.3.4. Інтегрована оцінка навігаційної ситуації та дій інших суден...	239
4.3.5. Методи визначення меж безпеки при розходженні суден.....	242
4.4. Уникнення ситуацій небезпечного зближення	244
4.4.1. Коли судно, що повинно поступитися дорогою, не виконує своїх обов'язків	246
4.4.2. Схеми розподілу руху	248
4.4.3. Перетин смуги або смуг руху.....	251
4.4.4. Зони попереджувального маневрування.....	256
4.5. Вплив людського елемента на використання радіолокації	258
4.6. Практика налаштування та використання радіолокаційної станції в реальних умовах	259
4.7. Тренажерна підготовка та відпрацювання сценаріїв розходження	261
4.8. Комплексне застосування радіолокації та МПЗЗС	262
РОЗДІЛ 5. ІНТЕГРАЦІЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ВИМОГ МПЗЗС-72 У ПРОЦЕСІ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ.....	264
5.1. Оцінювання ризику зіткнення у радіолокаційному спостереженні....	264
5.2. Виконання маневру як переформування радіолокаційної картини руху	266
5.3. Обмежена видимість як перехід до радіолокаційного способу сприйняття обстановки	267
5.4. Послідовність взаємодії радіолокаційної інформації та вимог МПЗЗС-72.....	269
5.5. Обмеження радіолокаційного спостереження та роль судноводія у прийнятті рішень	270
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	272

ВІД АВТОРІВ

Сучасна навігація вже неможлива без радіолокаційних засобів. Якщо ще кілька десятиліть тому радар розглядався як допоміжний інструмент для виявлення об'єктів у складних умовах видимості, то сьогодні він став одним із ключових елементів системи забезпечення безпеки судноплавства. Його роль особливо зростає в умовах інтенсивного руху, обмежених акваторій і складних гідрометеорологічних впливів, де традиційні візуальні методи спостереження втрачають ефективність.

У практиці управління судном радіолокація виконує значно ширші функції, ніж просте відображення навколишньої обстановки. Вона формує основу для прийняття рішень, пов'язаних із розходженням суден, оцінкою ризику зіткнення, контролем траєкторії руху та уточненням місця судна. При цьому ефективність використання радіолокаційної інформації визначається не лише технічними характеристиками обладнання, а й здатністю судноводія правильно інтерпретувати радіолокаційне зображення.

Особливість сучасного етапу розвитку полягає у поєднанні радіолокації з цифровими навігаційними системами. Інтеграція з ECDIS, AIS, INS та іншими інформаційними середовищами створює єдине інформаційне поле, у якому радіолокаційні дані набувають нового змісту. Водночас така інтеграція не зменшує значення базових принципів роботи радару. Навпаки, вона підвищує вимоги до розуміння фізичної природи процесів формування радіолокаційного сигналу та його відображення.

У цьому посібнику радіолокація розглядається не лише як технічний засіб, а як елемент системи управління судном. Особлива увага приділяється тому, як радіолокаційна інформація впливає на прийняття навігаційних рішень, і яку роль у цьому процесі відіграє людський елемент. Саме взаємодія людини та технічної системи визначає кінцевий рівень безпеки плавання.

Матеріал побудовано у лекційному форматі. Це дозволяє послідовно перейти від фізичних основ радіолокації до практичного застосування радарів у реальних умовах судноплавства. При цьому базові положення адаптовані до підготовки судноводіїв і орієнтовані на формування не лише знань, а й навичок аналізу навігаційної обстановки.

Під час підготовки ілюстративного матеріалу використано адаптовані рисунки з [19].

РОЗДІЛ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РАДІОЛОКАЦІЇ

Радіолокація як метод спостереження базується на використанні електромагнітних хвиль. На відміну від оптичного спостереження, яке залежить від освітлення та прозорості атмосфери, радіохвилі здатні поширюватися на значні відстані та зберігати інформативність навіть за умов туману, дощу або темряви. Саме ця властивість зробила радар незамінним засобом у морській навігації.

Суть радіолокаційного методу полягає у випромінюванні електромагнітного сигналу, його поширенні у просторі, відбитті від об'єкта та поверненні до приймача. Час затримки між випромінюванням і прийомом сигналу дозволяє визначити відстань до об'єкта, а напрямок випромінювання антени – його пеленг. Таким чином формується базова інформація про навігаційну обстановку.

Важливо розуміти, що радіолокаційне зображення не є прямим «фотографічним» відображенням реальності. Воно формується внаслідок складної взаємодії сигналу з об'єктами, поверхнею моря та атмосферою. Наприклад, інтенсивність відбитого сигналу залежить від розмірів об'єкта, його форми, матеріалу та кута опромінення. Тому один і той самий об'єкт може виглядати на екрані по-різному залежно від умов спостереження.

Окрему роль відіграє характер поширення радіохвиль. У морських умовах сигнал рухається не строго прямолінійно, а зазнає впливу рефракції, що пов'язана зі зміною властивостей атмосфери з висотою. Це призводить до зміни ефективної дальності виявлення та появи таких явищ, як радіолокаційна тінь або аномальне поширення сигналу.

Взаємодія сигналу з морською поверхнею також суттєво впливає на якість зображення. Хвилювання створює численні відбиття, які формують так званий морський засвіт. У результаті слабкі цілі можуть бути частково або повністю приховані на фоні перешкод. Аналогічно, атмосферні явища, зокрема опади, викликають дощовий засвіт, що ускладнює інтерпретацію радіолокаційної картини.

З технічної точки зору радар працює у імпульсному режимі. Передавач формує короткі імпульси високої потужності, які випромінюються антеною у вузькому секторі. Після цього система переходить у режим прийому, фіксуючи відбиті сигнали. Такий режим дозволяє розділити процеси випромінювання і прийому та забезпечити вимірювання дальності з високою точністю.

Суттєвим параметром є тривалість імпульсу. Короткі імпульси забезпечують кращу роздільну здатність за дальністю, що дозволяє розрізняти близько розташовані об'єкти. Водночас для досягнення великої дальності виявлення потрібна достатня енергія сигналу, що створює компроміс між дальністю і точністю.

У процесі обертання антени відбувається послідовне сканування простору. Отримані сигнали перетворюються у зображення на екрані, яке відображає положення об'єктів відносно судна. Таким чином формується радіолокаційна картина, яка є основою для подальшого аналізу.

У контексті управління судном важливо підкреслити, що сам по собі радар не приймає рішень. Він лише надає інформацію, яка повинна бути правильно інтерпретована судноводієм. Помилки на цьому етапі можуть призвести до неправильного оцінювання ситуації, навіть якщо технічні засоби працюють бездоганно. Саме тому розуміння фізичних основ радіолокації є необхідною передумовою ефективного використання цього інструменту.

1.1. Фізичні принципи радіолокації та формування радіолокаційного зображення

У цьому розділі розглядаються базові принципи функціонування суднового радіолокатора як одного з ключових навігаційних засобів сучасного судноводіння. Матеріал побудовано таким чином, щоб сформувати цілісне уявлення про фізичну основу роботи радіолокаційної системи, її складові елементи та особливості відображення інформації на індикаторі.

Послідовно розглядаються принципи роботи основних компонентів радіолокатора та їх взаємодія, режими відображення інформації, методи вимірювання дальності та пеленга, а також особливості обробки сигналів перед їх відображенням.

Термін *радар* походить від англійського *Radio Direction and Ranging*, що відображає сутність методу – визначення напрямку та відстані до об'єкта за допомогою радіохвиль. Принцип роботи радіолокатора ґрунтується на випромінюванні електромагнітного сигналу в заданому напрямку та реєстрації сигналу, відбитого від об'єкта.

Хоча цей принцип був відомий ще до Другої світової війни, його практична реалізація стала можливою після створення магнетрона, який забезпечив генерацію високочастотних імпульсів значної потужності в компактних пристроях. Це зробило можливим широке застосування радіолокації на судах і літаках. Магнетрон і сьогодні використовується в багатьох системах завдяки здатності формувати сигнали, необхідні для точного вимірювання дальності.

У суднових радіолокаторах застосовуються два основні діапазони довжин хвиль – приблизно 3 см і 10 см. Найбільш поширеним є 3-сантиметровий діапазон, який забезпечує кращу роздільну здатність і оптимальне співвідношення переваг та обмежень. Особливості їх використання розглядаються в наступних підрозділах.

Робота радіолокатора базується на чіткому чергуванні режимів передавання та прийому. Передавач формує короткі імпульси великої потужності, після чого система переходить у режим прийому для реєстрації відбитих сигналів. Це перемикання здійснюється за допомогою TR-осередку (Transmit/Receive), який спрямовує енергію до антени та захищає приймач від впливу переданого імпульсу.

Антенa (сканер) визначає напрямок на ціль. У більшості суднових радарів використовується обертова антенa, яка забезпечує огляд простору на 360°. Напрямок її орієнтації в момент прийому сигналу відповідає пеленгу цілі.

Точність встановлення антени та стабільність її обертання безпосередньо впливають на достовірність навігаційної інформації.

1.1.1. Вимірювання дальності

Визначення відстані до об'єкта є однією з основних функцій радіолокатора. Для цього використовується властивість електромагнітних хвиль поширюватися з практично сталою швидкістю, що дорівнює швидкості світла.

У розрахунках приймається, що швидкість радіолокаційного сигналу становить 300 000 000 м/с, що відповідає приблизно 300 м/мкс або 0,162 морської милі/мкс.

Принцип вимірювання дальності базується на визначенні часу, який проходить між моментом випромінювання імпульсу та моментом прийому відбитого сигналу. Магнетрон генерує короткий імпульс електромагнітної енергії, який випромінюється антеною в заданому напрямку. Після цього передавач вимикається, і система переходить у режим прийому.

Якщо на шляху поширення сигналу знаходиться об'єкт, частина енергії відбивається і повертається до антени. Отриманий сигнал підсилюється та передається на індикатор для відображення.

Оскільки сигнал проходить шлях до об'єкта і назад, вимірний час відповідає подвоєній відстані. Це є принциповим для правильного визначення дальності.

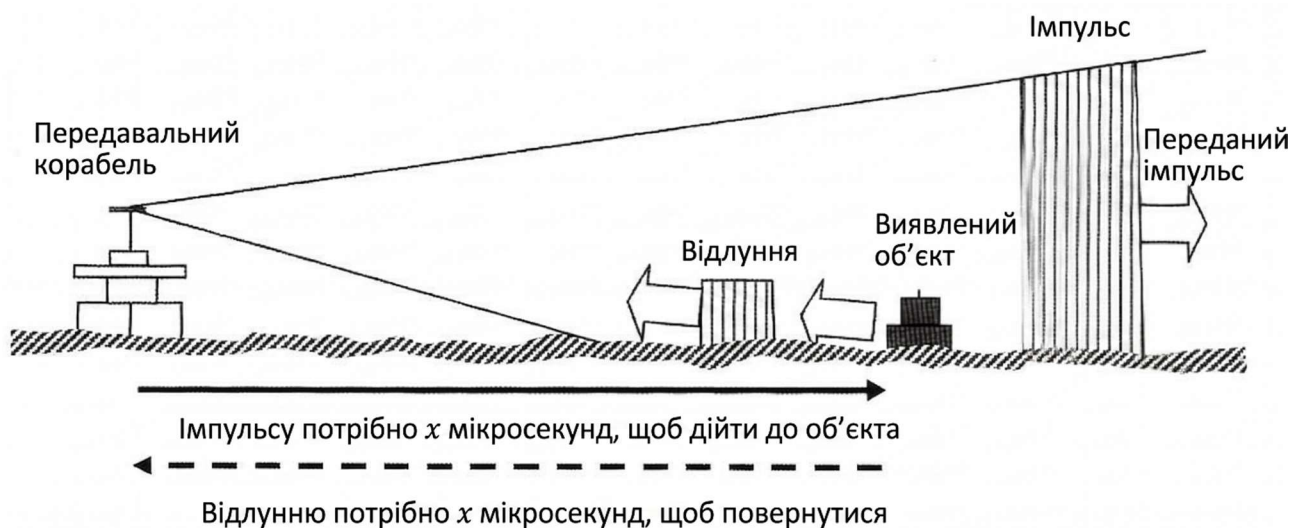


Рисунок 1.1 – Схема випромінювання імпульсу та повернення ехосигналу

Для закріплення розуміння доцільно виконувати прості розрахунки: визначати час проходження сигналу для заданих відстаней та, навпаки, відстань за відомим часом затримки.

Часові інтервали, з якими працює радіолокатор, є надзвичайно малими, тому традиційні методи вимірювання часу непридатні. Це зумовило використання спеціальних електронних засобів.

Перші практичні рішення базувалися на застосуванні електронно-променевих трубок, які дозволяли візуалізувати процеси у вигляді графічних

залежностей. Одним із таких способів є А-розгортка (A-scan), при якій сигнал відображається як залежність амплітуди від часу. Оскільки час безпосередньо пов'язаний із відстанню, така форма відображення дозволяє визначати дальність до об'єктів.

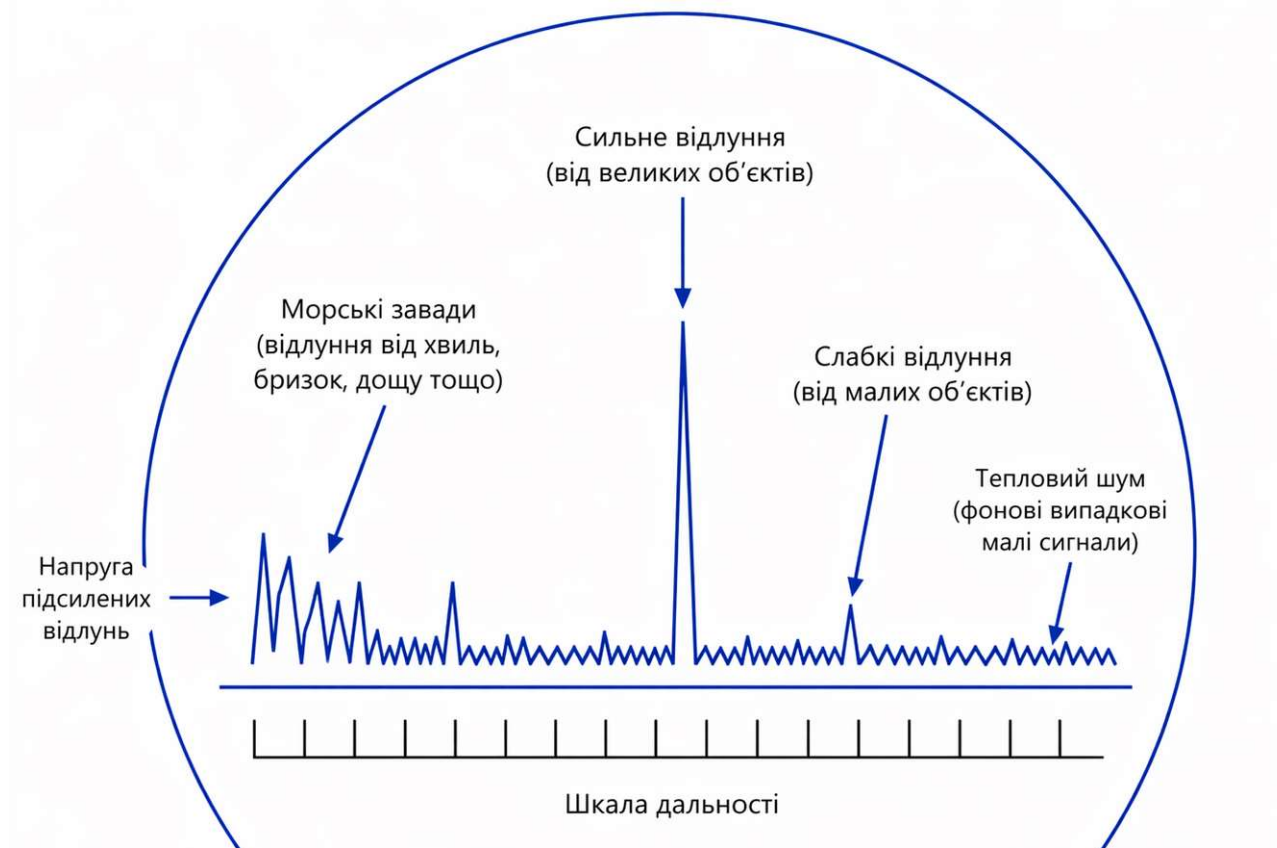


Рисунок 1.2 – Відображення сигналу у вигляді А-розгортки.

У ранніх радіолокаційних системах вимірювання дальності здійснювалося за допомогою електронно-променевої трубки. Електронний промінь, сформований у трубці, відхилявся від центра до краю екрана синхронно з моментом випромінювання імпульсу. Швидкість його переміщення відповідала половині швидкості поширення радіохвилі, що дозволяло інтерпретувати положення променя як відстань.

При прийомі ехосигналу після підсилення виникало локальне збільшення яскравості променя. Це формувало світлову відмітку на екрані, положення якої відповідало дальності до цілі. Синхронізація розгортки з обертанням антени забезпечувала відображення не лише дальності, але й напрямку на об'єкт.

У результаті формувалося радіолокаційне зображення, де положення відмітки визначалося поєднанням дальності та пеленга (див. рис. 1.3а, 1.3б).

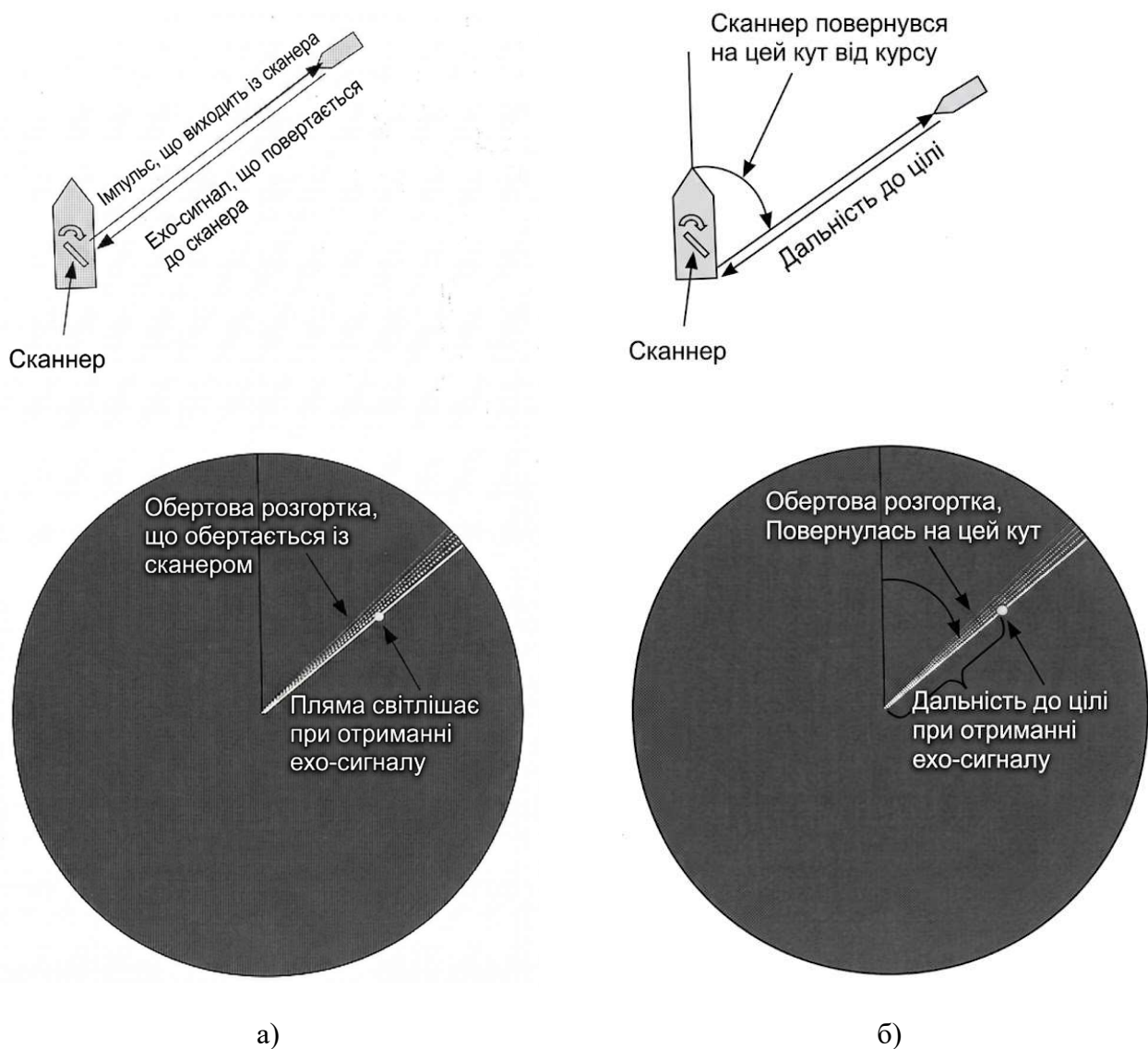


Рисунок 1.3 – Формування відмітки цілі (а) на електронно-променевому індикаторі та координат цілі (б) при обертанні розгортки

Такий принцип характерний для ранніх систем, однак його логіка зберігається і в сучасних радіолокаторах.

Подальший розвиток привів до переходу від електронно-променевих індикаторів до цифрових систем. У сучасних радіолокаторах відбиті сигнали після підсилення піддаються оцифруванню.

Повертаючись до процесу визначення дальності, слід зазначити, що сигнал порівнюється з тактовими імпульсами.

Тактовий генератор задає кількість комірок для кожного масштабу дальності. Якщо напруга відбитого сигналу перевищує порогове значення, відповідна комірка фіксує «1», в іншому випадку – «0».

Таким чином формується цифрове представлення дальності – регістр дальності, який використовується для подальшого відображення інформації.

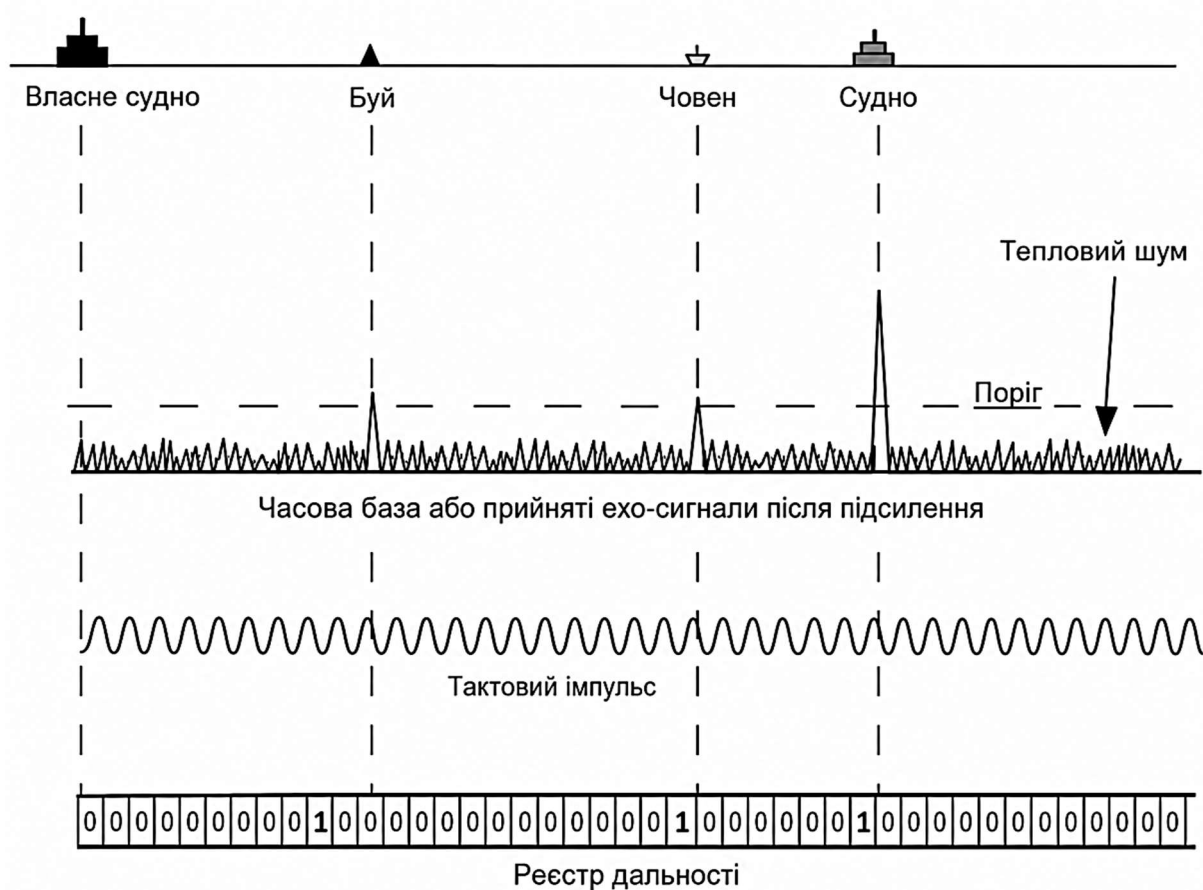


Рисунок 1.4 – Процес оцифрування ехосигналів: порівняння з порогом і формування цифрового реєстра дальності.

1.1.2. Визначення пеленга (Bearing Measurement)

Після визначення дальності до цілі наступним етапом є встановлення її напрямку – пеленга. Він визначається положенням антени (сканера) в момент прийому відбитого сигналу.

Таким чином, будь-яка відмітка на екрані формується як поєднання двох величин: дальності, що визначається за часом затримки сигналу, і пеленга, який задається кутовим положенням антени.

Формування коректного радіолокаційного зображення починається з встановлення базового напрямку відліку. Це досягається узгодженням пристрою визначення курсу (heading contact), розташованого в антенному блоці, з діаметральною площиною судна – лінією «ніс–корма».

На практиці ця процедура не завжди є простою. Якщо антена встановлена з відхиленням від діаметральної площини, навіть незначним, виникає систематична похибка у визначенні пеленгів. Тому після монтажу, як правило, виконується додаткове підстроювання.

Коли антена спрямована точно по курсу судна, на екрані формується маркер курсу (heading marker), відносно якого виконуються всі вимірювання напрямків. Саме він є опорною лінією для інтерпретації радіолокаційного зображення.

Правильність встановлення маркера курсу потребує регулярної перевірки. Найпростішим способом є вибір об'єкта, розташованого точно по носу судна, і порівняння його радіолокаційного відображення з лінією маркера. Якщо спостерігається розбіжність, її необхідно або врахувати під час вимірювань, або усувати шляхом налаштування системи (див. рис. 1.5).

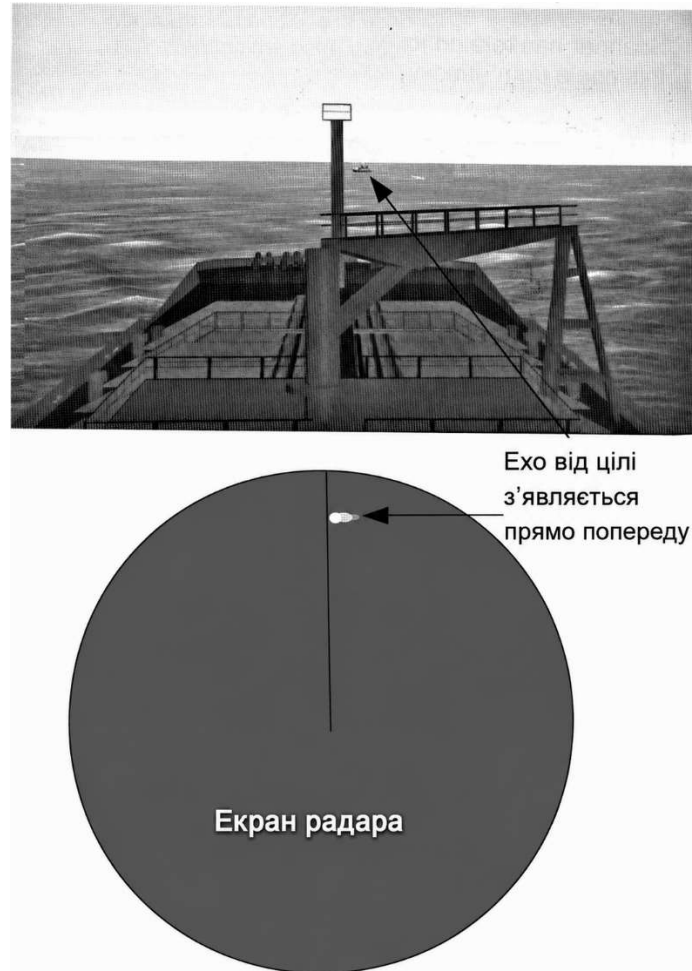


Рисунок 1.5 – Перевірка правильності встановлення маркера курсу

У ранніх радіолокаторах існував безпосередній механічний зв'язок між обертанням антени та рухом розгортки на екрані. У сучасних системах ця функція реалізується цифровими методами.

Кутове положення антени визначається за допомогою датчика обертання (shaft encoder), який формує цифровий код, що відповідає поточному значенню кута. Цей код записується у вигляді послідовності двійкових сигналів і використовується разом із даними про дальність.

Поєднання інформації про дальність і пеленг дозволяє перейти від полярної системи координат до прямокутної. Саме це перетворення лежить в основі формування зображення на сучасних растрових індикаторах, де кожна ціль відображається у вигляді точки з координатами (x, y) (див. рис. 1.6).

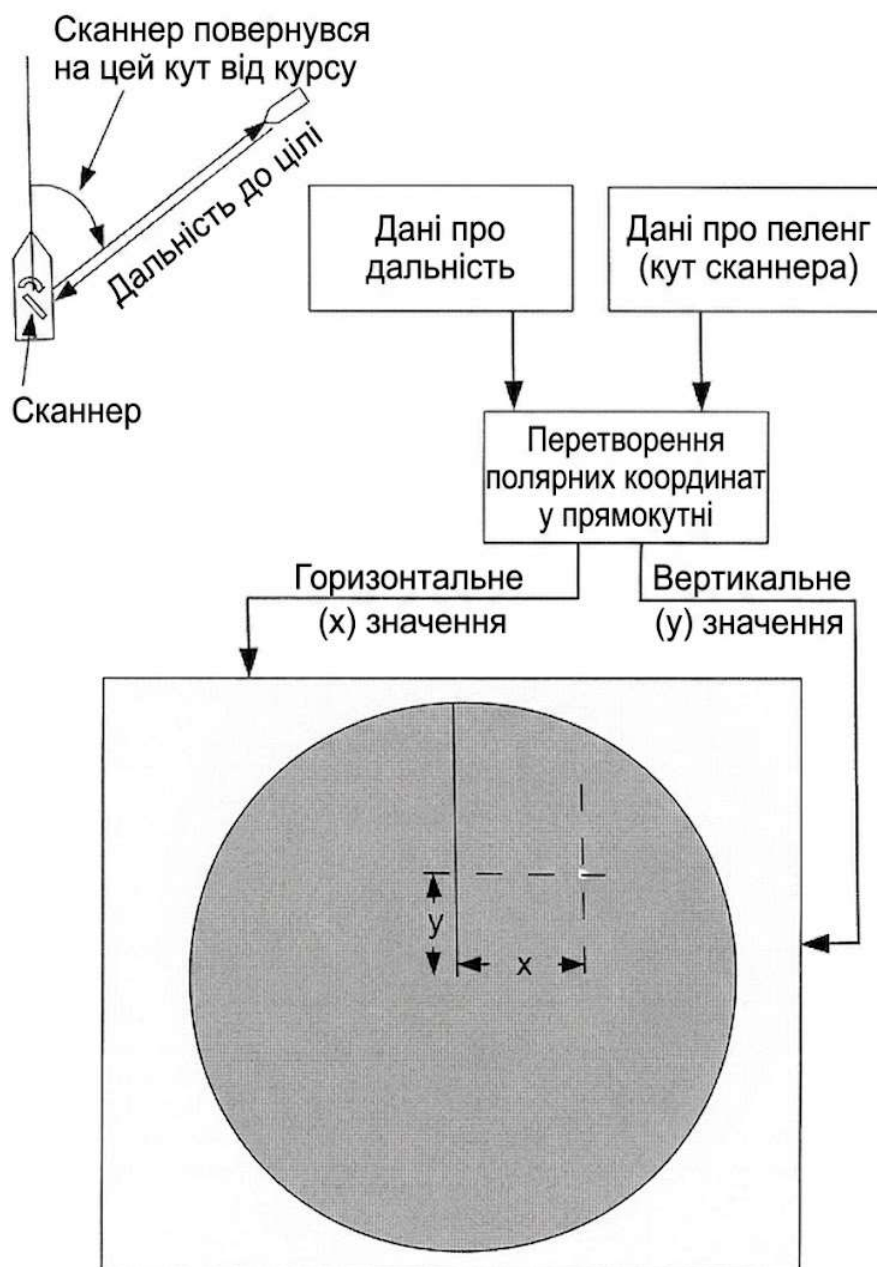


Рисунок 1.6 – Перетворення координат: від дальності та пеленга до екранних координат

1.1.3. Точність визначення дальності та пеленга

Для опису граничних можливостей радіолокатора часто використовується поняття так званої «точкової цілі» (point target). Це умовна модель об'єкта, який не має геометричних розмірів, але має достатню відбивну здатність для формування помітного ехосигналу.

У реальних умовах таких об'єктів не існує, однак вузькі металеві конструкції, зокрема навігаційні віхи, можуть наближатися до цієї моделі.

Відображення «точкової цілі» на екрані визначається двома факторами: параметрами радіолокаційного імпульсу, передусім його тривалістю та шириною діаграми спрямованості антени, а також роздільною здатністю екрана.

Піксель (pixel) є мінімальним елементом зображення. Растровий дисплей складається з великої кількості таких елементів, організованих у рядки та

стовпці, причому кожен з них може бути активований або залишатися неактивним, формуючи зображення.

У монохромних дисплеях мінімальний розмір відображуваного елемента відповідає одному пікселю. У кольорових дисплеях пікселі об'єднуються у групи, як правило по три для формування базових кольорів, тому мінімальний елемент фактично має більший розмір.



Рисунок 1.7 – Мінімальні розміри ехосигналу, що відповідає «точковій цілі»

Незалежно від реальних розмірів об'єкта, його зображення на екрані не може бути меншим за один піксель або групу пікселів. Однак у практичних умовах вирішальним фактором є не роздільна здатність екрана, а параметри радіолокаційного імпульсу.

Розглянемо приклад. Для шкали дальності 1,5 морської милі, при тривалості імпульсу 0,1 мкс і ширині діаграми спрямованості антени 1° , довжина відбитого імпульсу становить приблизно 30 м, а ширина – близько 32 м на відстані 1 миля.

З урахуванням масштабу відображення та кількості пікселів така «точкова» ціль фактично займає кілька пікселів, приблизно 3×3 . Аналогічні оцінки для більших дальностей, наприклад 12 миль, показують, що розмір відображення також визначається насамперед параметрами імпульсу.

З цього випливає принциповий висновок: мінімальний розмір відображення цілі визначається характеристиками радіолокаційного сигналу, а не роздільною здатністю екрана.

1.1.4. Формування радіолокаційного зображення

Зображення на екрані радіолокатора формується як сукупність відбитих сигналів (ехо), що надходять від різних об'єктів.

Під час обертання антени вона послідовно приймає ехосигнали від усіх об'єктів, що потрапляють у зону дії променя. Кожен прийнятий імпульс перетворюється у відповідний набір пікселів на екрані. У процесі обертання антени ці пікселі поступово формують повну картину навколишньої обстановки – відображення берегової лінії, інших суден та окремих об'єктів.

Таким чином, безперервне обертання антени забезпечує постійне оновлення зображення і формує радіолокаційну картину обстановки (див. рис. 1.8).

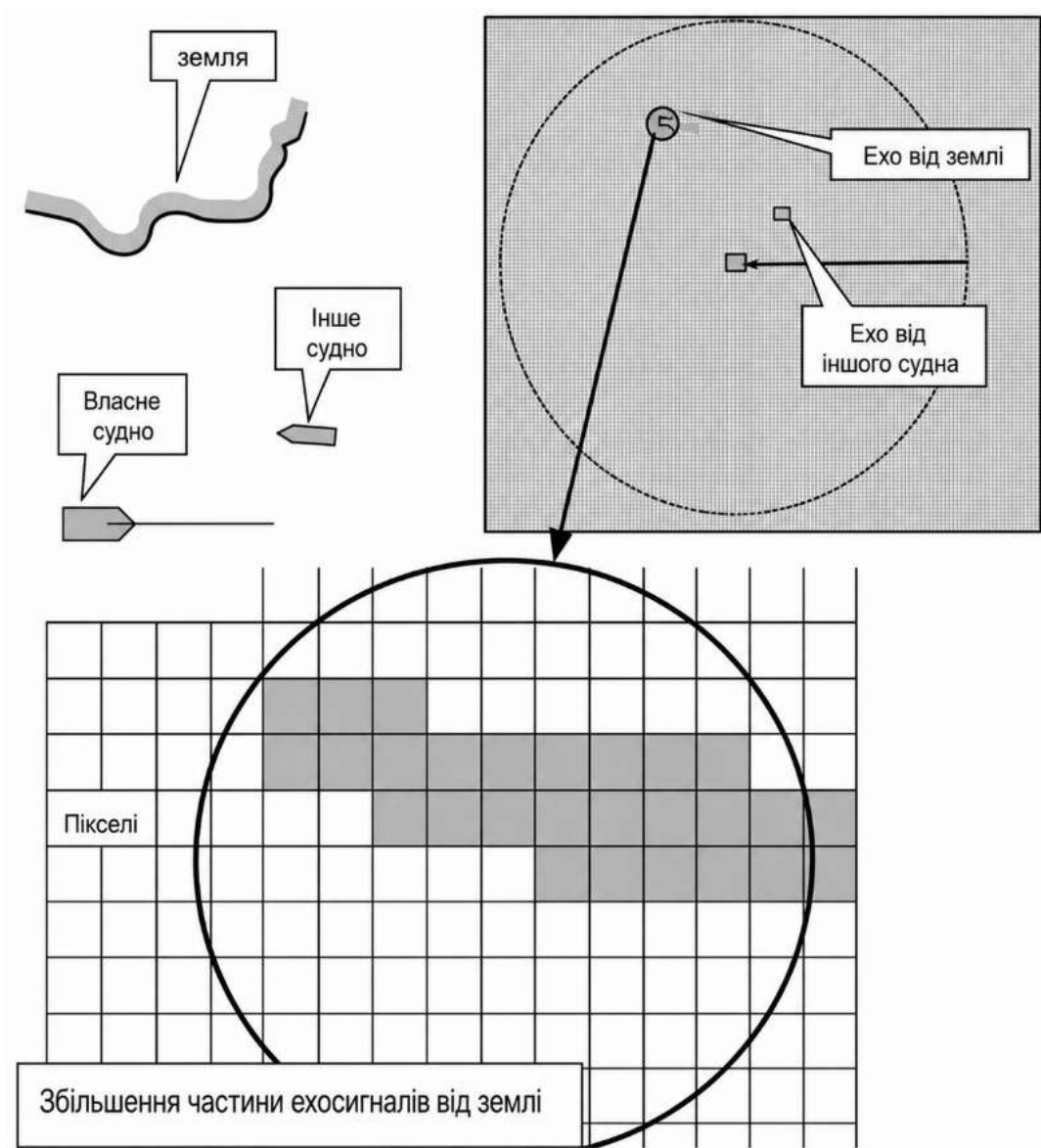


Рисунок 1.8 – Формування зображення на екрані радіолокатора

Однак отримане зображення саме по собі ще не є достатнім для навігаційного аналізу. Для його правильної інтерпретації необхідно визначити систему відліку, відносно якої оцінюється положення об'єктів.

Маркер курсу формується за допомогою контактної системи, яка спрацьовує в момент, коли радіолокаційний промінь проходить через діаметральну площину судна. Він задає основний напрямок відліку і використовується як опорна лінія для оцінки пеленгів.

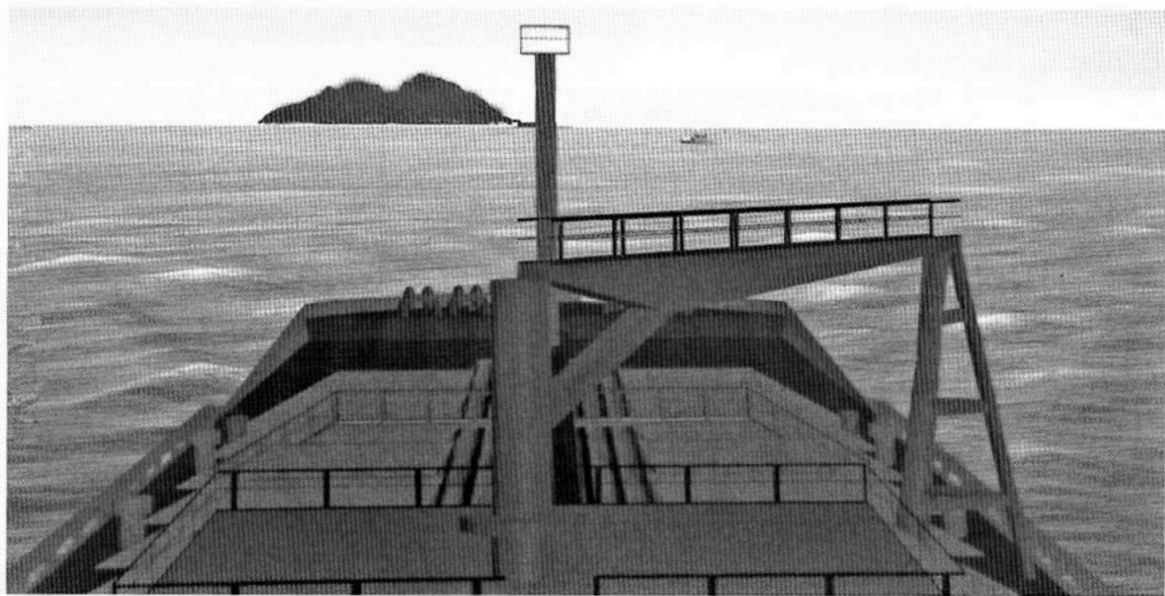
Залежно від способу орієнтації зображення на екрані, одна й та сама радіолокаційна картина може інтерпретуватися по-різному.

У режимі **Head Up** зображення орієнтоване по курсу судна: напрямок руху завжди спрямований у верхню частину екрана. При цьому стабілізація від компаса, як правило, не використовується, і при зміні курсу змінюється орієнтація всієї картини.

У режимі **North Up** зображення стабілізується відносно півночі за допомогою гірокомпаса або магнітного компаса. У цьому випадку картина залишається нерухомою, а маркер курсу змінює своє положення відповідно до курсу судна.

Режим **Course Up** поєднує переваги двох попередніх: зображення орієнтується відповідно до обраного курсу руху. При його зміні необхідно виконати повторне встановлення орієнтації.

Вибір режиму орієнтації безпосередньо впливає на сприйняття радіолокаційної обстановки і пов'язаний з роботою вахтового помічника. У різних умовах навігації можуть використовуватися різні режими, залежно від того, чи важливішою є стабільність картини відносно півночі, чи відповідність зображення фактичному напрямку руху судна.

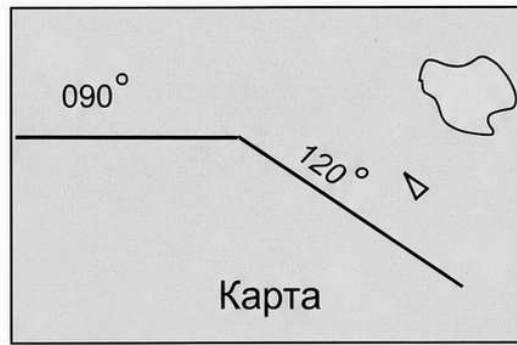


а)



б)

Рисунок 1.9 – Орієнтація зображення до зміни (а) і після зміни (б) курсу

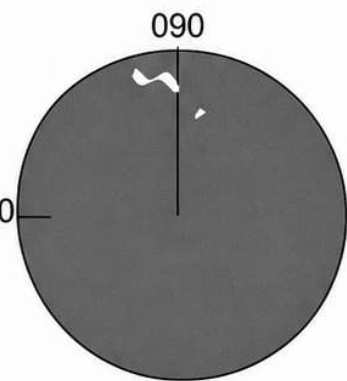
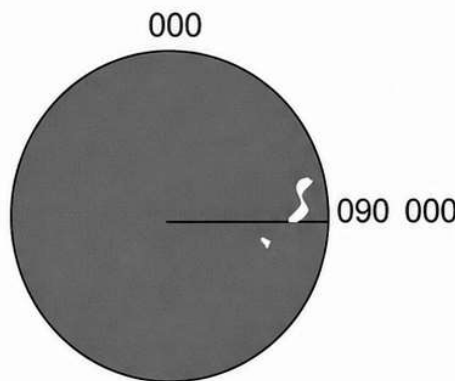
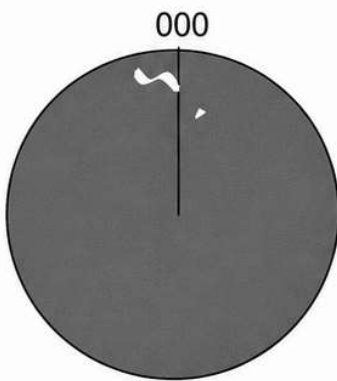


Носом угору

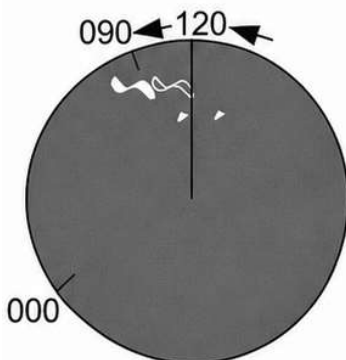
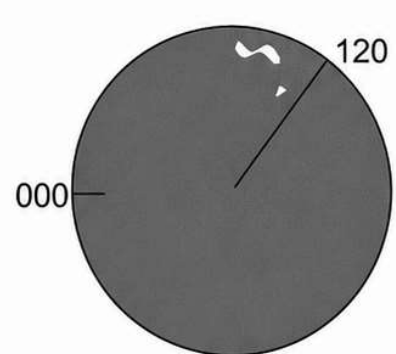
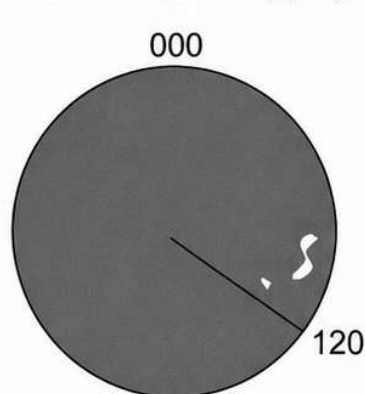
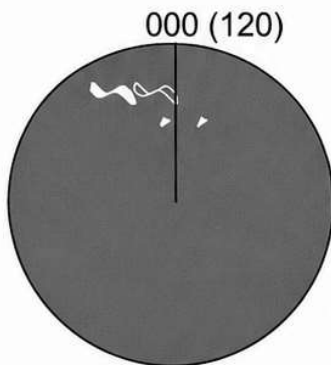
Північ угору

Курс угору

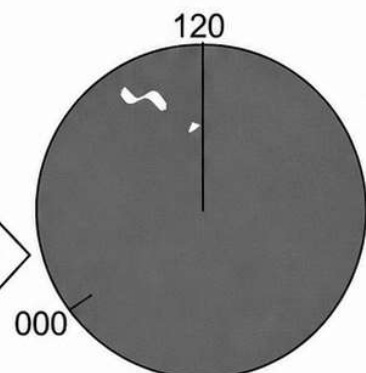
Перед зміною курсу



Після зміни курсу



Після зміни курсу,
режим "Курс угору"
потребує скидання
маркера курсу "угору"
знову



Носом угору з обертовою шкалою пеленгів

Рисунок 1.9 в – Порівняння режимів орієнтації (Head Up, North Up, Course Up)

1.1.5. Основні компоненти суднового радіолокатора

Судновий радіолокатор являє собою складну технічну систему, що складається з взаємопов'язаних функціональних блоків. Незважаючи на різноманіття конструктивних рішень, більшість сучасних радіолокаційних станцій мають подібну структуру.

У загальному випадку до складу радіолокатора входять чотири основні елементи:

- передавач;
- антенно-скануючий пристрій (сканер);
- приймач;
- індикатор (система відображення).

Кожен із цих елементів виконує чітко визначену функцію у процесі формування та відображення радіолокаційної інформації.

Передавач призначений для формування радіолокаційних імпульсів заданої тривалості, форми та потужності. До його складу входять:

- синхронізатор (Trigger unit) – визначає момент формування імпульсу та частоту їх повторення (PRF), що залежить від обраної шкали дальності;
- модулятор (Modulator) – формує імпульс необхідної тривалості та забезпечує живлення магнетрона;
- магнетрон (Magnetron) – генерує високочастотний імпульс радіоенергії, який передається до антени.

Антенно-скануючий пристрій (сканер) виконує дві основні функції: формує вузький спрямований пучок радіохвиль і приймає відбиті сигнали від об'єктів. Антена безперервно обертається на 360°, забезпечуючи огляд навколишнього простору. Інформація про її кутове положення передається до обчислювального блоку для визначення пеленга цілі.

Приймач обробляє дуже слабкі ехосигнали, що повертаються від об'єктів. До його складу входять:

- TR-осередок (T/R cell) – перемикає систему між режимами передавання та прийому та захищає приймач від потужного переданого імпульсу;
- змішувач (Mixer) – перетворює частоту прийнятого сигналу у проміжну частоту (IF), зручну для подальшої обробки;
- підсилювач проміжної частоти (IF amplifier) – підсилює сигнал до рівня, придатного для детектування (разом із сигналом підсилюються і шуми);
- відеопідсилювач (Video amplifier) – виділяє імпульси ехосигналів і доводить їх до рівня, необхідного для формування зображення.

Система відображення у сучасних радіолокаторах представлена як електронно-променевими (CRT), так і рідкокристалічними (LCD) дисплеями. Формування зображення здійснюється шляхом керування яскравістю елементів екрана відповідно до рівня прийнятого сигналу.

Перед відображенням сигнал проходить обробку:

- регістр зсуву (Shift register) – тимчасово зберігає дані перед їх відображенням;

- CPU (Central Processing Unit) – об’єднує дані про дальність, пеленг та іншу інформацію, а також формує допоміжні елементи зображення (кільця дальності, маркери тощо);
- сигнал обертання антени – передає інформацію про пеленг від датчика положення антени до процесора.

Узагальнена взаємодія всіх елементів радіолокатора наведена на структурній схемі (див. рис. 1.10).

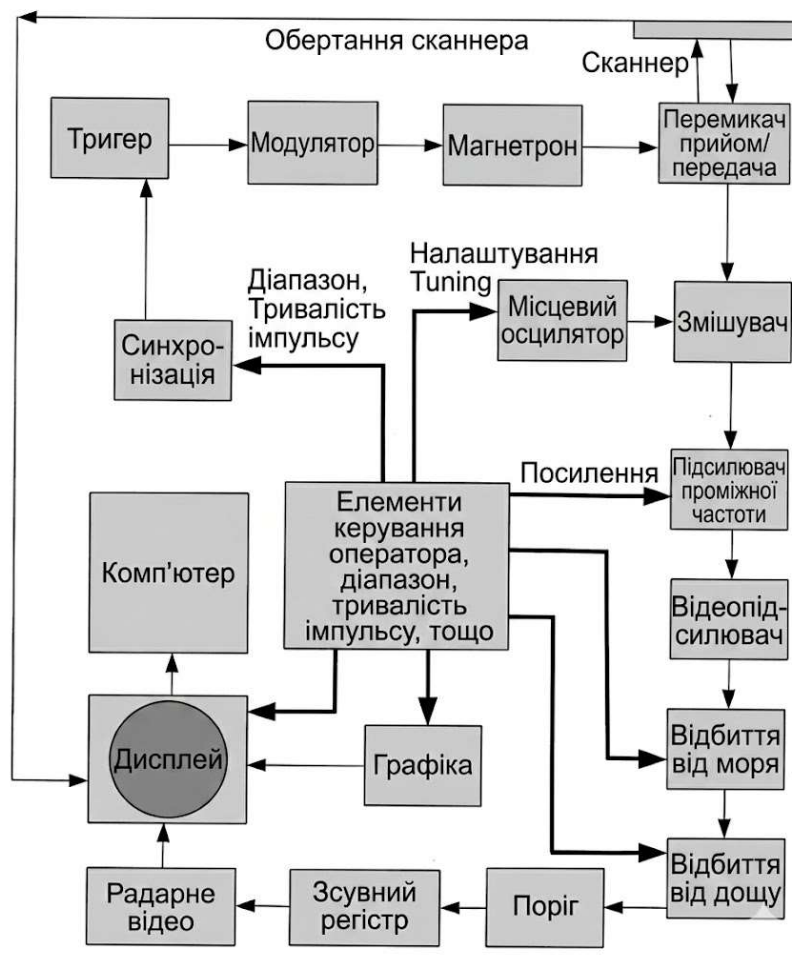


Рисунок 1.10 – Структурна схема основних блоків радіолокатора.

1.1.6. Довжина імпульсу та частота повторення імпульсів (PRF)

Для забезпечення достатньої точності вимірювання дальності та можливості розрізняти близько розташовані цілі радіолокатор повинен випромінювати імпульси певної форми та тривалості.

Імпульси мають бути короткими та мати різко виражений фронт (так звана «прямокутна» форма), щоб енергія досягала максимальної величини за мінімальний час. Це забезпечується роботою магнетрона та модулюючого пристрою.

Довжина імпульсу (pulse length) зазвичай задається у мікросекундах, однак її зручно інтерпретувати і в просторовому вимірі. Оскільки швидкість поширення

сигналу становить приблизно 300 м/мкс, імпульс тривалістю 1 мкс відповідає довжині близько 300 м.

У сучасних радарів оператор, як правило, обирає між режимами короткого і довгого імпульсу. Короткі імпульси застосовуються на малих дистанціях і забезпечують кращу роздільну здатність, тоді як довгі використовуються на великих дальностях, де важливішою є енергія сигналу і надійність виявлення слабких цілей. Наприклад, на шкалах 0,5–3 милі тривалість імпульсу становить приблизно 0,05–0,1 мкс, а на більших дальностях може досягати 0,5–1,0 мкс і більше.

Таким чином, вибір довжини імпульсу завжди є компромісом між роздільною здатністю та дальністю виявлення.

Другим важливим параметром є частота повторення імпульсів – PRF (Pulse Repetition Frequency), тобто кількість імпульсів, що випромінюються за секунду. Вона визначається конструкцією радіолокатора і змінюється залежно від обраної шкали дальності.

З PRF пов'язаний період повторення імпульсів (PRP) – інтервал часу між двома послідовними імпульсами. Чим більша PRF, тим менший цей інтервал, і навпаки. При цьому час між імпульсами значно перевищує тривалість самого імпульсу, що необхідно для прийому ехосигналів від віддалених об'єктів.

Наприклад, при довжині імпульсу 0,5 мкс інтервал між імпульсами може становити близько 1000 мкс, тобто більшу частину часу радіолокатор працює в режимі прийому.

Зі зміною шкали дальності змінюється і PRF. На малих дистанціях вона є високою, інтервали між імпульсами короткі, і ехосигнали повертаються швидко. На великих дистанціях PRF зменшується, інтервали збільшуються, що дає змогу приймати сигнали від далеких цілей. Водночас висока PRF підвищує ймовірність виявлення слабких цілей, оскільки за одиницю часу передається більше імпульсів. Залежність між довжиною імпульсу та PRF для 3-см радарів наведена у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Довжина імпульсу та частота повторення імпульсів (PRF) для 3-см радіолокатора

Шкала дальності (морські милі)	0.125	0.25	0.5	0.75	1.5	3	6	12	24	48
Короткий імпульс, мкс	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.15	0.3	0.3	1	1
PRF, імп./с	3200	3200	3200	3200	3200	3200	1600	1600	800	800
Середній імпульс, мкс	0.06	0.06	0.06	0.15	0.15	0.3	0.5	0.5	1	1
PRF, імп./с	3200	3200	3200	3200	3200	1600	1600	1600	800	800
Довгий імпульс, мкс	0.15	0.15	0.15	0.3	0.3	0.5	1	1	1	1
PRF, імп./с	3200	3200	3200	1600	1600	1600	800	800	800	800

Узагальнюючи, можна зазначити, що довжина імпульсу визначає роздільну здатність і дальність виявлення, тоді як PRF задає часову структуру роботи радіолокатора і впливає на максимальну дальність прийому сигналів. Обидва параметри взаємопов'язані й завжди підбираються з урахуванням обраної шкали дальності, що відображає загальний принцип роботи радіолокатора як системи, побудованої на компромісі між точністю та дальністю.

Чим більша кількість імпульсів потрапляє на ціль, тим вища ймовірність її виявлення та стабільнішим є відображення на екрані.

Оскільки антена постійно обертається, кількість імпульсів, що опромінюють конкретну ціль, визначається частотою повторення імпульсів, шириною променя та швидкістю обертання антени.

Розглянемо приклад. Нехай швидкість обертання антени становить 30 об/хв, ширина променя – 2° , а PRF – 1000 імпульсів за секунду. Один повний оберт антена виконує за 2 секунди, за цей час випромінюється 2000 імпульсів. Відповідно, на один градус припадає приблизно 5,5 імпульсів, а в межах променя шириною 2° ціль опромінюється приблизно 11 імпульсами.

Це означає, що навіть при безперервному обертанні антени кожна ціль отримує не один, а серію імпульсів, що забезпечує надійність її виявлення.

1.1.7. Роздільна здатність за дальністю (Range discrimination)

Оскільки радіолокаційний імпульс має певну фізичну довжину, саме вона визначає здатність радара розрізняти дві цілі, розташовані одна за одною на одному пеленгу.

Інакше кажучи, якщо два об'єкти знаходяться надто близько по дальності, їхні ехосигнали можуть накладатися і відображатися як одна ціль.

У попередніх прикладах розглядалася довжина імпульсу 1 мкс, що відповідає приблизно 300 м у просторі. Якщо використати коротший імпульс, наприклад 0,05 мкс, його довжина становитиме близько 15 м.

Теоретично мінімальна відстань між двома цілями, при якій вони ще можуть бути розрізнені, становить приблизно половину довжини імпульсу. Таким чином, для довгого імпульсу це близько 150 м, тоді як для короткого – приблизно 7,5 м.

На практиці це означає, що на малих дистанціях короткі імпульси дозволяють чітко розділяти близько розташовані цілі, тоді як на великих дальностях роздільна здатність погіршується.

Водночас слід враховувати, що на великих відстанях обмеження може визначатися вже не довжиною імпульсу, а роздільною здатністю екрана, тобто розміром пікселів.

Звідси випливає практичне правило: короткий імпульс забезпечує кращу роздільну здатність, тоді як довгий імпульс є більш ефективним для виявлення слабких цілей на великих дистанціях.

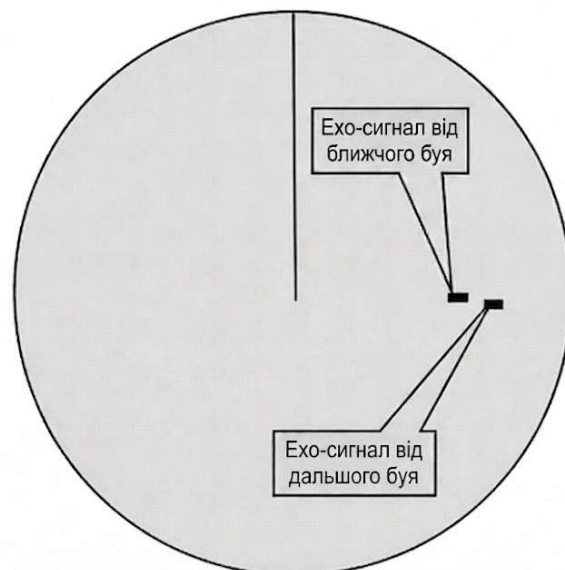
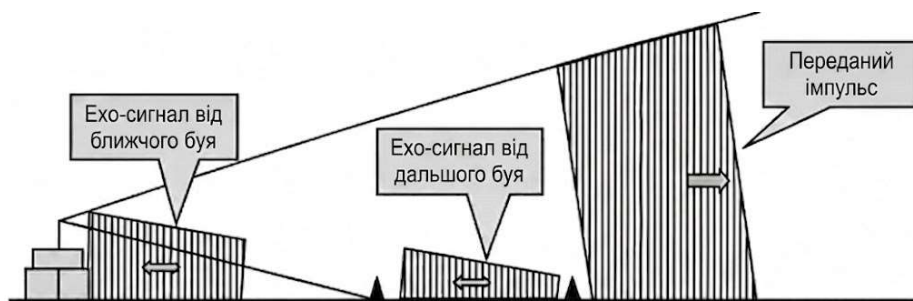
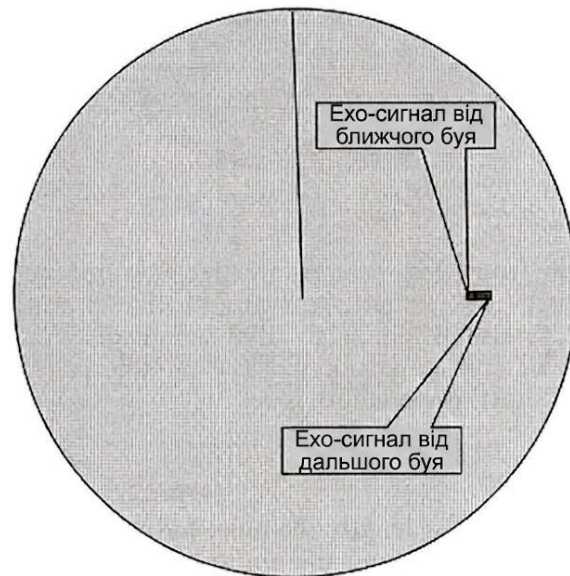
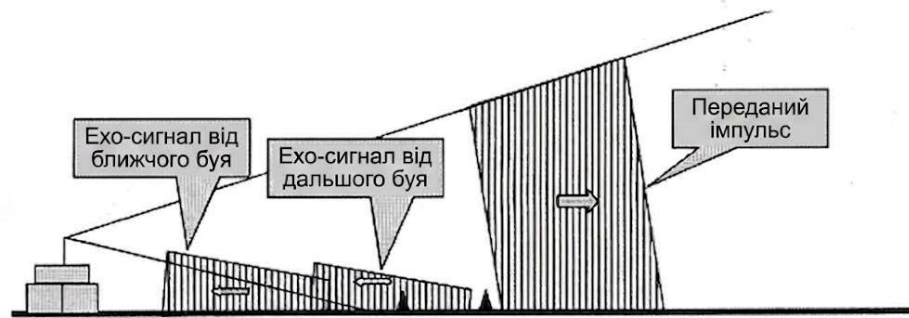


Рисунок 1.12 – Роздільна здатність за дальністю

1.1.8. Роздільна здатність за пеленгом (Bearing discrimination)

Аналогічно до впливу довжини імпульсу, на здатність радар розрізняти цілі впливає ще один параметр – ширина променя антени.

Цей параметр визначає кутову ширину зони, в межах якої радар одночасно приймає сигнали. Якщо дві цілі знаходяться близько одна до одної за пеленгом, вони можуть потрапити в межі одного променя і відобразитися як одна.

На відміну від довжини імпульсу, ширина променя не залежить від обраної шкали дальності. Однак її вплив зростає зі збільшенням відстані до цілі.

Це означає, що на малих дистанціях об'єкти, розташовані поруч, зазвичай добре розрізняються, тоді як на великих відстанях вони можуть зливатися в одну відмітку.

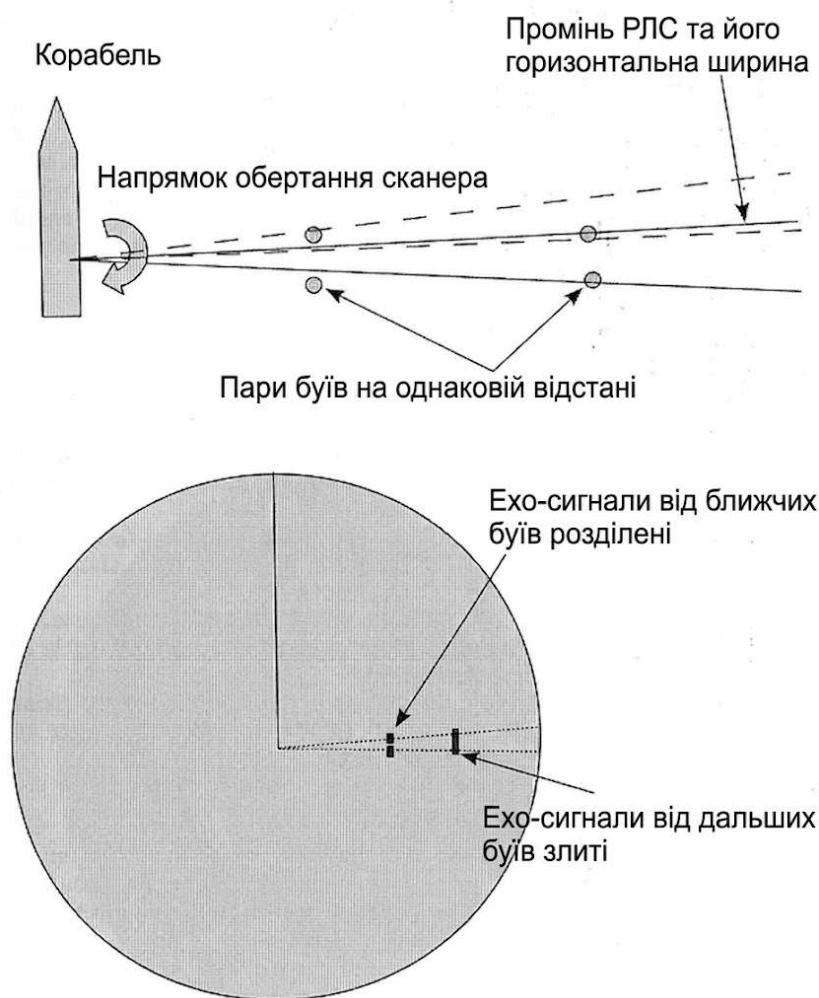


Рисунок 1.13 – Роздільна здатність за пеленгом.

1.1.9. Спотворення радіолокаційного зображення

Форма та розміри імпульсу, а також ширина променя антени впливають не лише на роздільну здатність, але й на точність відображення об'єктів.

Найбільш наочно це проявляється під час спостереження берегової лінії. На радіолокаційному зображенні мис може виглядати ширшим, ніж на карті, вузькі

протоки іноді взагалі не відображаються, а окремі острови можуть зливатися з берегом.

Такі спотворення пов'язані з тим, що відбиті сигнали фактично «розмазуються» як за рахунок довжини імпульсу, так і за рахунок ширини променя антени.

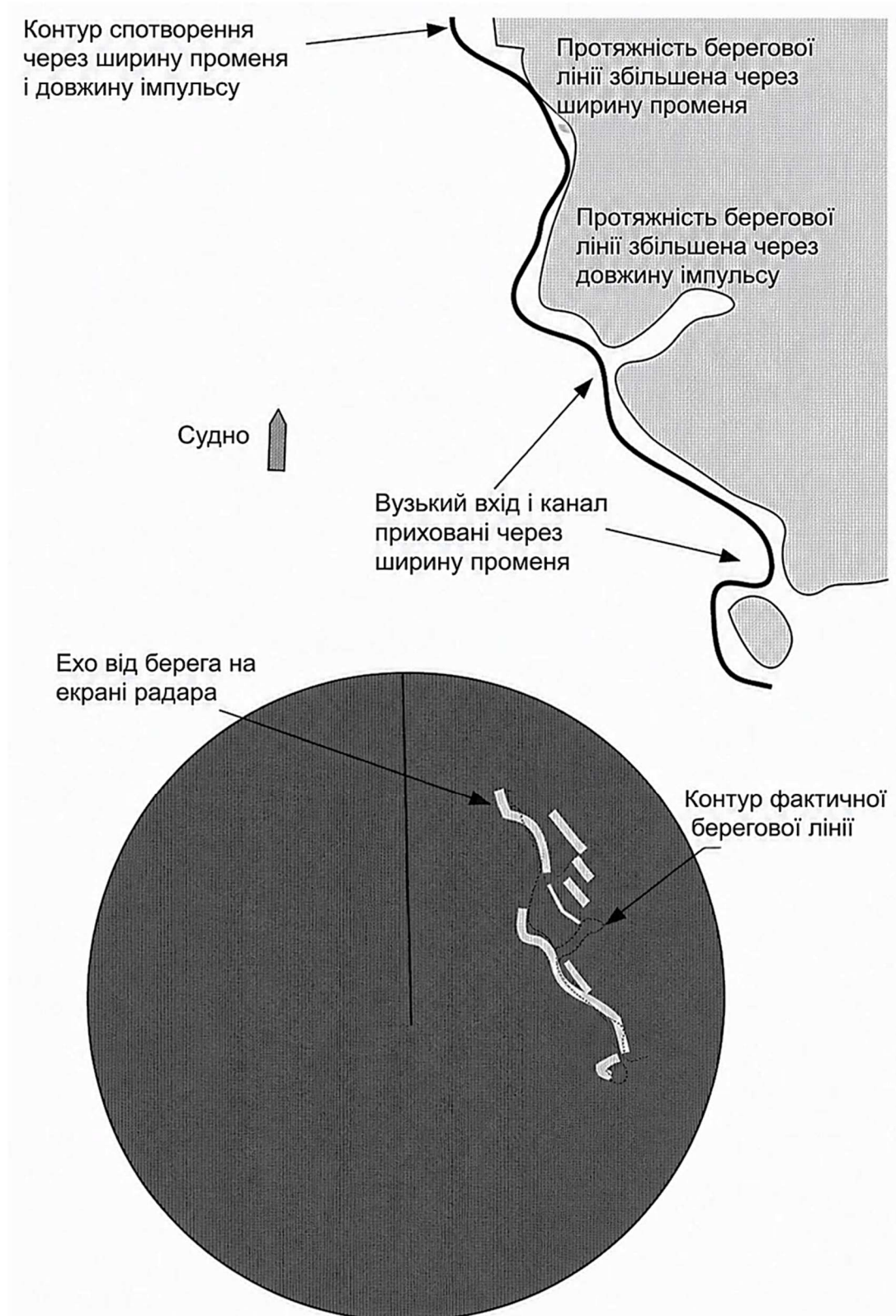


Рисунок 1.14 – Спотворення зображення берегової лінії

Узагальнюючи розглянуті принципи, можна зазначити, що радіолокаційний імпульс має дуже малу тривалість і поширюється зі швидкістю світла, причому час його випромінювання значно менший за час прийому відбитих сигналів. Частота повторення імпульсів змінюється залежно від обраної шкали дальності, а сам радіолокатор функціонує як система взаємопов'язаних блоків, що забезпечують формування і обробку сигналу.

Довжина імпульсу та ширина променя антени визначають роздільну здатність і характер відображення об'єктів, тоді як роздільна здатність екрана зазвичай не є визначальним фактором точності.

У наступних розділах буде детальніше розглянуто технічні аспекти роботи радіолокатора, що дозволить глибше зрозуміти принципи формування та інтерпретації радіолокаційної інформації.

1.2. Радіолокаційний горизонт

У цьому підрозділі розглядається питання максимальної дальності, на якій суднова радіолокаційна станція здатна виявляти цілі. Аналіз виконується з урахуванням радіолокаційного горизонту в стандартних атмосферних умовах, факторів, що впливають на дальність виявлення, а також особливостей поширення радіолокаційного променя в різних атмосферних ситуаціях.

Суднові радіолокаційні станції працюють у діапазонах частот приблизно 3 000 і 10 000 МГц і в більшості практичних випадків можуть розглядатися як системи, що функціонують у межах «прямої видимості». Це означає, що за однакових умов – достатньої потужності випромінювання, належних відбивних характеристик цілі та відсутності значного атмосферного поглинання – об'єкт не буде виявлений, якщо він знаходиться нижче радіолокаційного горизонту.

Водночас радіохвилі мають здатність частково огинати поверхню Землі, тому радіолокаційний горизонт зазвичай дещо перевищує геометричний. У більшості практичних випадків спостерігається тісний взаємозв'язок між радіолокаційним і візуальним горизонтом.

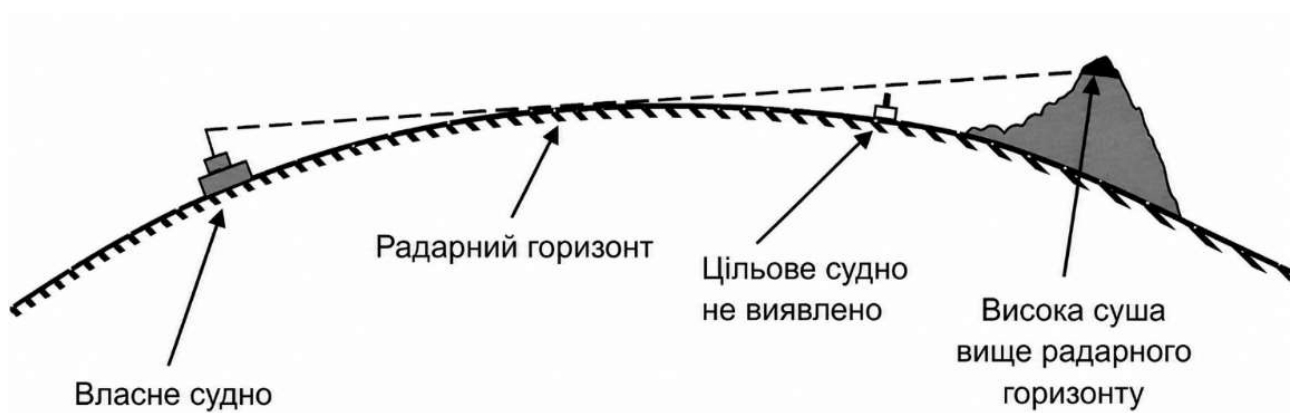


Рисунок 1.15 – Теоретичний радіолокаційний горизонт

Вплив атмосфери є важливим фактором, який необхідно враховувати при оцінці дальності виявлення, особливо під час спостереження берегових об'єктів. У стандартних умовах радіолокаційний промінь не поширюється строго прямолінійно, а дещо викривляється у бік поверхні Землі, причому цей ефект виражений сильніше, ніж для світлових хвиль.

При аналізі дальності до горизонту доцільно розрізняти три його види: геометричний, оптичний і радіолокаційний. Геометричний горизонт визначається як пряма лінія від точки спостереження (антени або ока спостерігача), дотична до поверхні Землі.

Радіолокаційний горизонт визначає максимальну відстань, на якій радар здатен виявити умовну ціль, що не має висоти і розташована на поверхні моря.

1.2.1. Співвідношення геометричного, оптичного та радіолокаційного горизонтів

Для порівняння різних видів горизонту використовуються аналітичні залежності, що пов'язують дальність виявлення з висотою точки спостереження.

Для геометричного горизонту:

$$D = 1,92\sqrt{h}$$

для оптичного горизонту:

$$D = 2,08\sqrt{h}$$

для радіолокаційного горизонту:

$$D = 2,21\sqrt{h}$$

де h – висота точки спостереження (наприклад, антени радіолокатора) у метрах, а D – дальність у морських милях.

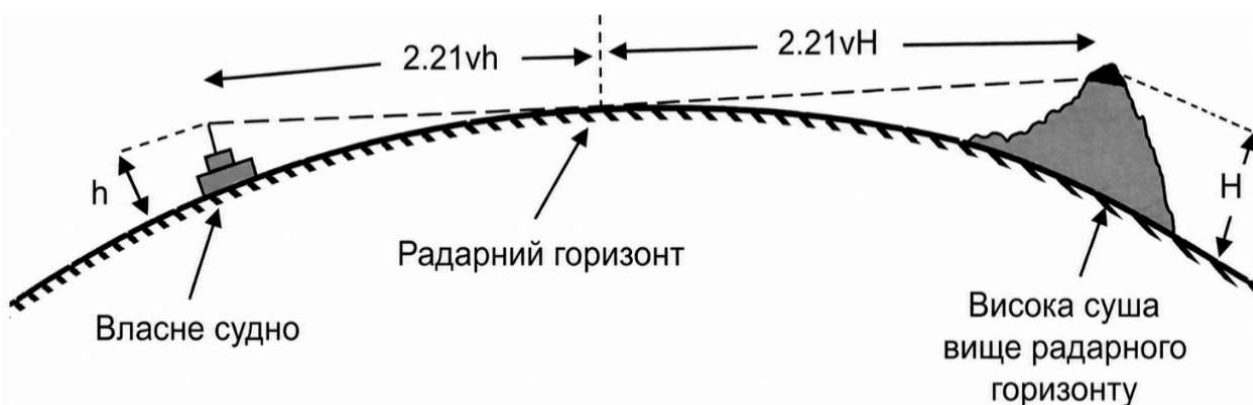


Рисунок 1.16 – Теоретична дальність виявлення цілей

Із наведених співвідношень видно, що радіолокаційний горизонт перевищує геометричний і оптичний. Це пояснюється впливом атмосферної рефракції, яка спричиняє викривлення радіолокаційного променя у бік поверхні Землі.

Можливість виявлення цілі за межами власного радіолокаційного горизонту визначається також її висотою, тобто тим, чи виступає хоча б частина об'єкта над лінією горизонту.

У загальному випадку теоретична дальність виявлення визначається як сума відстаней від антени до її радіолокаційного горизонту та від цілі до її власного горизонту:

$$D = 2,21\sqrt{h} + 2,21\sqrt{H}$$

де h – висота антени, а H – висота цілі.

Наведені залежності є справедливими за стандартних атмосферних умов, за наявності достатньої потужності радіолокаційного сигналу, здатності цілі формувати відбитий сигнал і за відсутності значного ослаблення сигналу атмосферними явищами.

Слід також враховувати, що хоча збільшення висоти антени підвищує дальність виявлення, ефективність такого підходу є обмеженою. Залежність має кореневий характер, тому для подвоєння дальності необхідно приблизно вчетверо збільшити висоту антени.

1.2.2. Рефракція та її вплив на поширення радіохвиль

Рефракція є одним із ключових фізичних явищ, що визначають реальну дальність дії радіолокаційної станції.

Її суть полягає у зміні швидкості поширення хвиль при переході між середовищами або шарами середовища з різною щільністю. В атмосфері така зміна зумовлена передусім вертикальним розподілом температури, тиску та вологості.

Якщо хвиля проходить межу між шарами під прямим кутом, її напрямок не змінюється, змінюється лише швидкість поширення. У разі падіння під кутом траєкторія хвилі викривляється (рис. 1.17, 1.18).

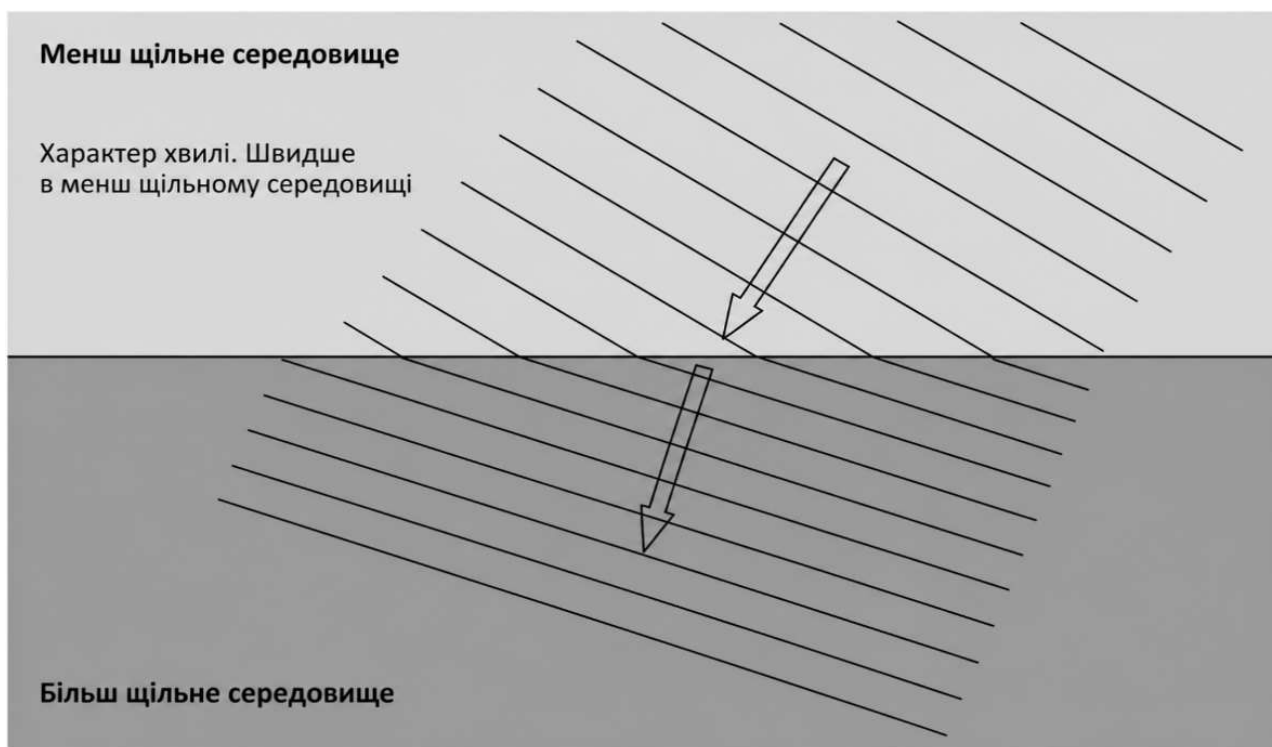


Рисунок 1.17 — Принцип атмосферної рефракції радіолокаційних хвиль

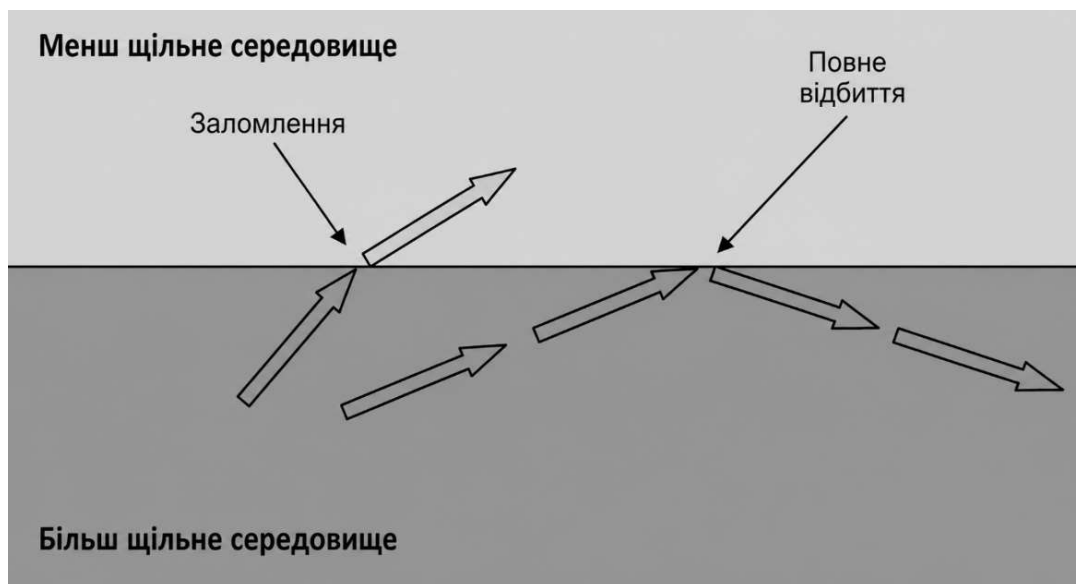


Рисунок 1.18 – Схеми рефракції

За достатньо великих кутів падіння і переходу з більш щільного середовища в менш щільне можливе явище повного внутрішнього відбиття, коли хвиля повертається назад у щільніший шар.

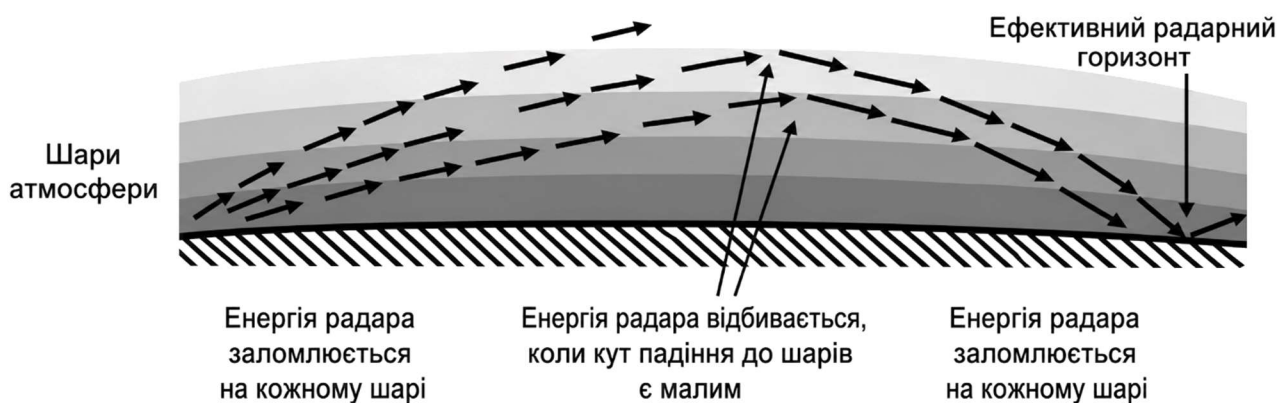


Рисунок 1.19 – Рефракція радіолокаційного променя

В атмосфері рефракція часто відбувається без чітко виражених меж між шарами. У цьому випадку через поступову зміну щільності повітря траєкторія хвилі набуває плавно викривленої форми.

При роботі суднового радара, встановленого поблизу поверхні моря, значна частина випромінювання зазнає саме такого викривлення. Промінь, спрямований майже горизонтально, за стандартних умов практично не змінює напрямку, тоді як верхні частини діаграми випромінювання, що формуються під кутами приблизно 10–20°, відхиляються і частково розсіюються у верхніх шарах атмосфери.

Частина енергії може зазнавати багаторазового заломлення і відбиття між шарами атмосфери, однак за відсутності аномальних умов це, як правило, не призводить до істотного збільшення дальності виявлення.

1.2.3. Субрефракція та суперрефракція

Відхилення реальних умов атмосфери від стандартних призводить до зміни характеру рефракції радіолокаційного променя. Найбільш поширеними такими явищами є субрефракція та суперрефракція, які по-різному впливають на дальність виявлення цілей.

Субрефракція виникає у випадку, коли показник заломлення атмосфери зменшується з висотою повільніше, ніж у стандартних умовах. У таких ситуаціях радіолокаційний промінь викривляється вгору, віддаляючись від поверхні Землі.

Причинами цього можуть бути збільшення відносної вологості з висотою або аномальне зменшення температури. У морських умовах ці фактори часто поєднуються. Наприклад, у полярних районах холодні повітряні маси можуть розташовуватися над відносно теплими водами, що призводить до ослаблення нормальної рефракції.

У результаті промінь піднімається над поверхнею моря, що зменшує ефективну дальність виявлення. Практично це проявляється у скороченні радіолокаційного горизонту та появі зон, у яких цілі не виявляються.

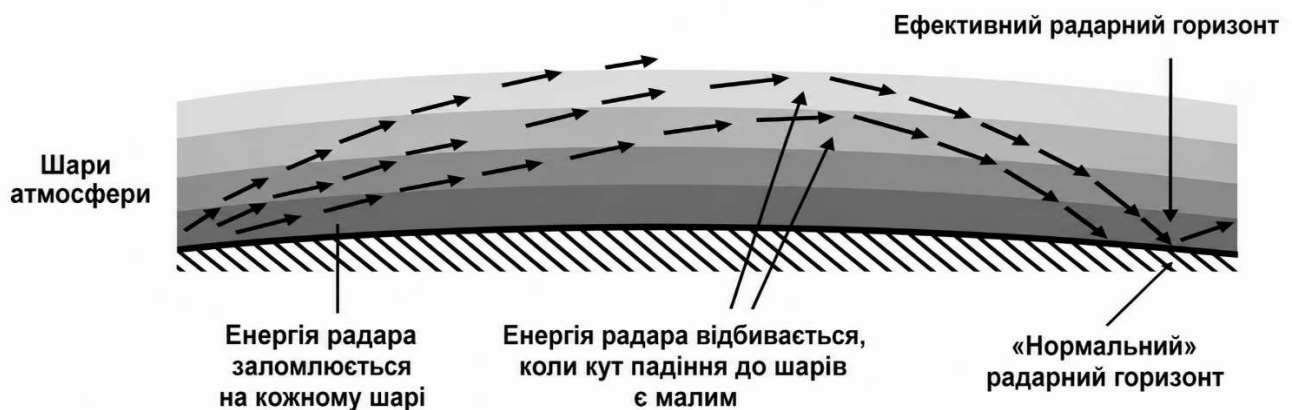


Рисунок 1.20 – Субрефракція та зменшення ефективного радіолокаційного горизонту

Субрефракція характерна для полярних областей, районів типу Гранд-Бенкс у Північній Атлантиці, акваторій із впливом холодних кататичних вітрів, а також умов із підвищеною вологістю під час циклонічної діяльності. Особливо небезпечним є її поєднання з обмеженою видимістю, коли судноводій покладається на радар, але фактична дальність виявлення виявляється меншою за очікувану.

Суперрефракція є протилежним явищем і виникає тоді, коли показник заломлення атмосфери зменшується з висотою швидше, ніж у стандартних умовах. У цьому випадку радіолокаційний промінь викривляється донизу, у бік поверхні моря.

Такі умови зазвичай пов'язані зі зменшенням вологості з висотою або повільнішим, ніж у нормі, зниженням температури, а інколи навіть із її підвищенням. Подібні ситуації часто спостерігаються в тропічних широтах і в зонах сталого антициклонального режиму.

У результаті промінь «притискається» до поверхні моря, що може призводити до збільшення дальності виявлення. В окремих випадках об'єкти спостерігаються на відстанях, значно більших за ті, що передбачені стандартними розрахунками.

Суперрефракція зазвичай не створює безпосередньої небезпеки, однак ускладнює інтерпретацію радіолокаційної обстановки, оскільки на екрані можуть з'являтися відмітки від далеких об'єктів, які не відповідають очікуваній дальності.

1.2.4. Каналювання радіохвиль (ducting)

Каналювання є граничним випадком суперрефракції і пов'язане з утворенням інверсійного шару в атмосфері. У таких умовах тепле повітря розташовується над холодним, і між цими шарами формується різкий градієнт показника заломлення.

Радіолокаційний промінь у цьому випадку не просто викривляється, а фактично «замикається» між поверхнею моря та інверсійним шаром, багаторазово відбиваючись у межах сформованого каналу.

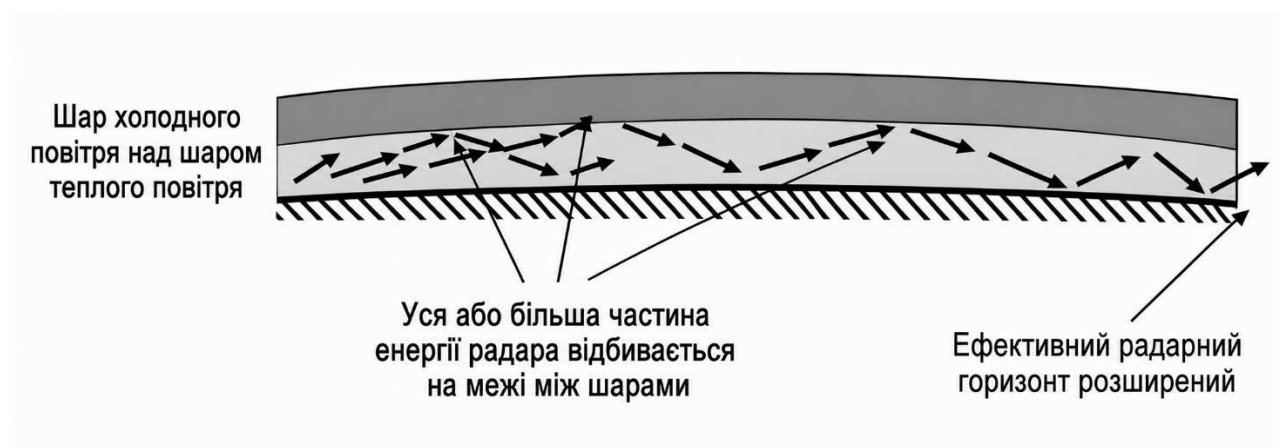


Рисунок 1.21 – Каналювання радіохвиль (ducting) у приземному шарі атмосфери

Це призводить до значного збільшення дальності поширення сигналу, іноді на десятки морських миль понад нормальні значення. У результаті на екрані радара можуть з'являтися відмітки від об'єктів, що знаходяться далеко за межами звичайного радіолокаційного горизонту.

Разом із тим каналювання має і негативні наслідки. Воно може спричинити появу хибних або так званих «других» відбиттів від віддалених об'єктів, що перевантажує індикатор і ускладнює оцінку навігаційної обстановки.

Окремим різновидом є підвищене каналювання (elevated ducting), при якому шар, що утримує радіохвилі, розташований на певній висоті над поверхнею моря.

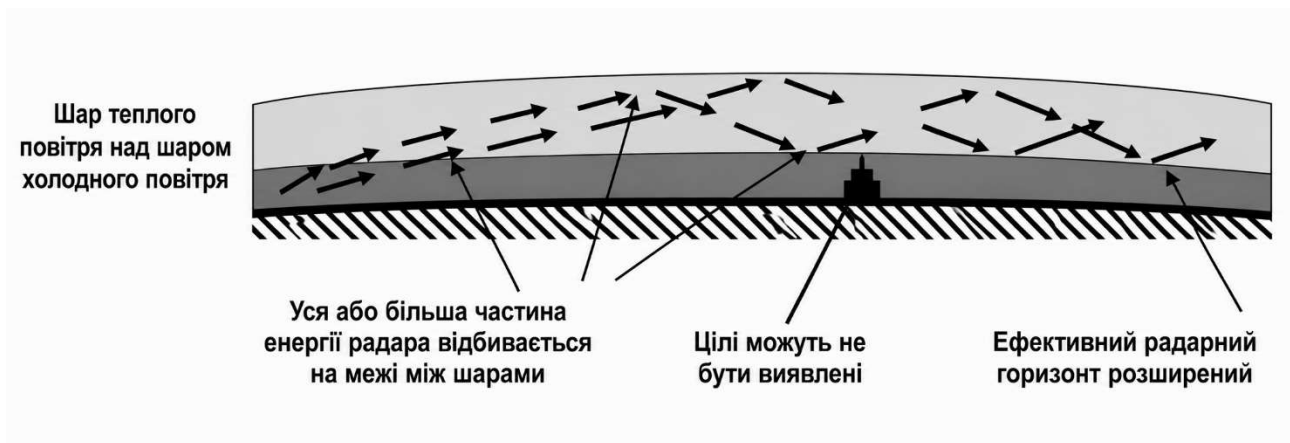


Рисунок 1.22 – Підвищене каналювання та невиявлення цілей поблизу поверхні

У цьому випадку радіолокаційний промінь поширюється в атмосферному шарі, не досягаючи поверхні моря. Як наслідок, малі цілі, розташовані поблизу водної поверхні, можуть не виявлятися, навіть якщо вони знаходяться на відносно невеликих відстанях.

1.2.5. Узагальнення впливу атмосфери на роботу РЛС

У стандартних атмосферних умовах радіолокаційний горизонт дещо перевищує оптичний, а дальність виявлення визначається сумарним впливом висоти антени та висоти цілі. Це створює базове уявлення про граничні можливості радіолокаційної станції в умовах прямої радіовидимості.

Водночас реальні умови поширення радіохвиль істотно відрізняються від ідеалізованих. Атмосфера є неоднорідним середовищем, у якому вертикальні зміни температури, тиску та вологості формують складну картину рефракційних процесів. У результаті траєкторія радіолокаційного променя може відхилятися як у бік поверхні Землі, так і від неї, безпосередньо впливаючи на ефективну дальність виявлення.

Субрефракція призводить до зменшення радіолокаційного горизонту та формування зон невиявлення. Суперрефракція і каналювання, навпаки, здатні значно збільшувати дальність дії радіолокатора, однак супроводжуються появою віддалених або хибних відміток, що ускладнює інтерпретацію радіолокаційного зображення.

Таким чином, радіолокаційний горизонт є базовим обмеженням у роботі суднових радіолокаційних станцій, але його фактичне значення визначається не лише геометричними параметрами, а й станом атмосфери.

У практиці судноводіння ці явища не мають суто теоретичного характеру. Вони безпосередньо впливають на оцінку навігаційної обстановки і прийняття рішень на містку, особливо в умовах обмеженої видимості або інтенсивного руху. При цьому важливо усвідомлювати, що радіолокаційна станція не створює «помилкову» інформацію у прямому сенсі – вона відображає реальний процес поширення і взаємодії радіохвиль з середовищем. Однак характер цього процесу може істотно відрізнятися від очікуваного за стандартних умов, що призводить

до появи зображення, яке не відповідає інтуїтивному уявленню судноводія про обстановку.

Саме тому вирішального значення набуває здатність критично інтерпретувати радіолокаційні дані, співставляти їх з фактичними умовами та враховувати можливі відхилення у поширенні сигналу. У цьому проявляється роль людського елемента – не лише у спостереженні, а й у правильному розумінні того, що саме відображає радар у кожний конкретний момент.

1.3. Хибні відмітки та перешкоди

У цьому розділі розглядаються хибні радіолокаційні відмітки, які можуть виникати внаслідок різних фізичних і технічних процесів. До основних причин їх появи належать повторні відбиття від конструкцій судна, від інших суден або об'єктів, багатократні відбиття сигналу, відмітки другого проходження, вплив інших радіолокаторів, а також природні явища.

Хибні відмітки формуються різними механізмами і можуть проявлятися по-різному. У найпростішому випадку вони лише відволікають увагу оператора і створюють незручності під час спостереження. У більш складних ситуаціях такі відмітки можуть бути сприйняті як реальні цілі, що здатне призвести до виконання небезпечного маневру. Між цими крайніми випадками існує широкий спектр проявів, коли екран засмічується сторонніми відмітками, ускладнюючи виявлення дійсних об'єктів.

У сучасних радіолокаційних станціях застосовується значна кількість технічних засобів і алгоритмів для зменшення впливу хибних відміток. Проте деякі з них мають таку природу, що їх повне усунення навіть за сучасного рівня розвитку технологій є неможливим.

Розпізнавання хибних відміток значною мірою ґрунтується на практичному досвіді судноводія. У багатьох випадках такі відмітки мають менш чіткий або більш розмитий характер порівняно з реальними цілями, що дозволяє зробити попередній висновок про їхню природу. Водночас існують ситуації, коли хибні відмітки практично не відрізняються від справжніх відбиттів.

Саме тому навіть за наявності підозри щодо хибності відмітки вона повинна розглядатися як реальна доти, доки не буде отримано однозначне підтвердження протилежного. У практиці це може означати необхідність зменшення швидкості або зміни курсу.

Розташування антени відносно конструкції судна істотно впливає на формування окремих типів хибних відміток. У ряді випадків антену доводиться встановлювати в умовах, що не є оптимальними, що зумовлює появу додаткових ефектів. Це питання детальніше розглядається у підрозділах, присвячених розміщенню сканера.

Окрему роль у сучасних умовах відіграє поширення морських вітрових електростанцій, особливо в естуаріях і поблизу інтенсивних судноплавних шляхів. Вітрогенератори є потужними радіолокаційними цілями і можуть спричиняти повторні відбиття від конструкцій судна або інших об'єктів,

включаючи сусідні судна. У результаті на екрані з'являються хибні відмітки, іноді в критичних зонах спостереження.

1.3.1. Повторні відбиття від конструкції судна

Якщо окремі елементи конструкції судна потрапляють у зону дії радіолокаційного променя, вони можуть утворювати ефективні відбивні поверхні. Ступінь прояву цього ефекту залежить від форми, розмірів, орієнтації та матеріалу відповідних елементів. Типовими прикладами є вантажні стріли, щогли, крани та димові труби. Водночас навіть відносно невеликі елементи, розташовані поблизу антени, зокрема антени УКХ-зв'язку або опорні конструкції, можуть виконувати роль вторинних відбивачів.

Важливу роль відіграють також інтенсивність сигналу від реальної цілі та її просторове положення відносно відбивної поверхні, сформованої конструкцією судна.

Хибні відмітки, що виникають унаслідок таких повторних відбиттів, зазвичай з'являються у напрямку відповідного конструктивного елемента, який їх зумовлює. Саме тому вахтовий помічник повинен добре знати взаємне розташування антени і всіх значущих елементів надбудови судна, включаючи навіть відносно невеликі деталі поблизу сканера.

Разом із тим у певних умовах, особливо за наявності потужної відбиваючої цілі на невеликій відстані, можливе виникнення повторних відбиттів через бокові пелюстки діаграми спрямованості антени. У таких випадках хибні відмітки можуть з'являтися у напрямках, що не збігаються з положенням відповідного елемента конструкції. Як правило, вони мають характер розтягнутих або викривлених сигналів, що нагадують «розмазування» основної цілі.

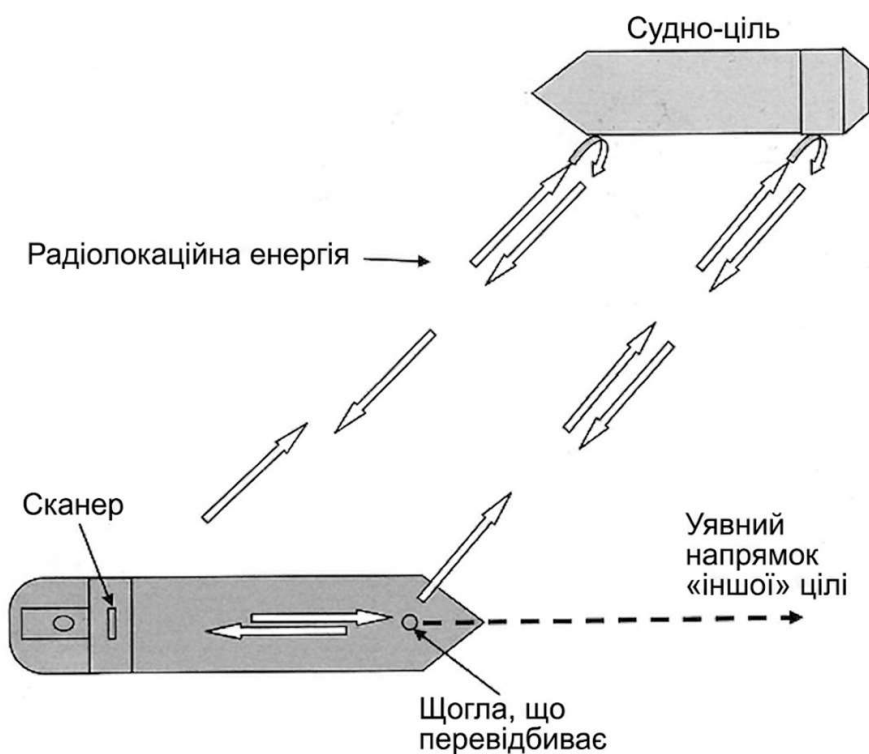


Рисунок 1.23 – Повторне відбиття від конструкції судна

Зазвичай відмітки, утворені внаслідок повторного відбиття, розташовуються на тій самій дальності, що й реальна ціль, якщо відстань між антеною і відбивною поверхнею незначна. Однак у випадку великих суден, де ці відстані можуть бути суттєвими, може спостерігатися помітна різниця між реальною та хибною відмітками за дальністю.

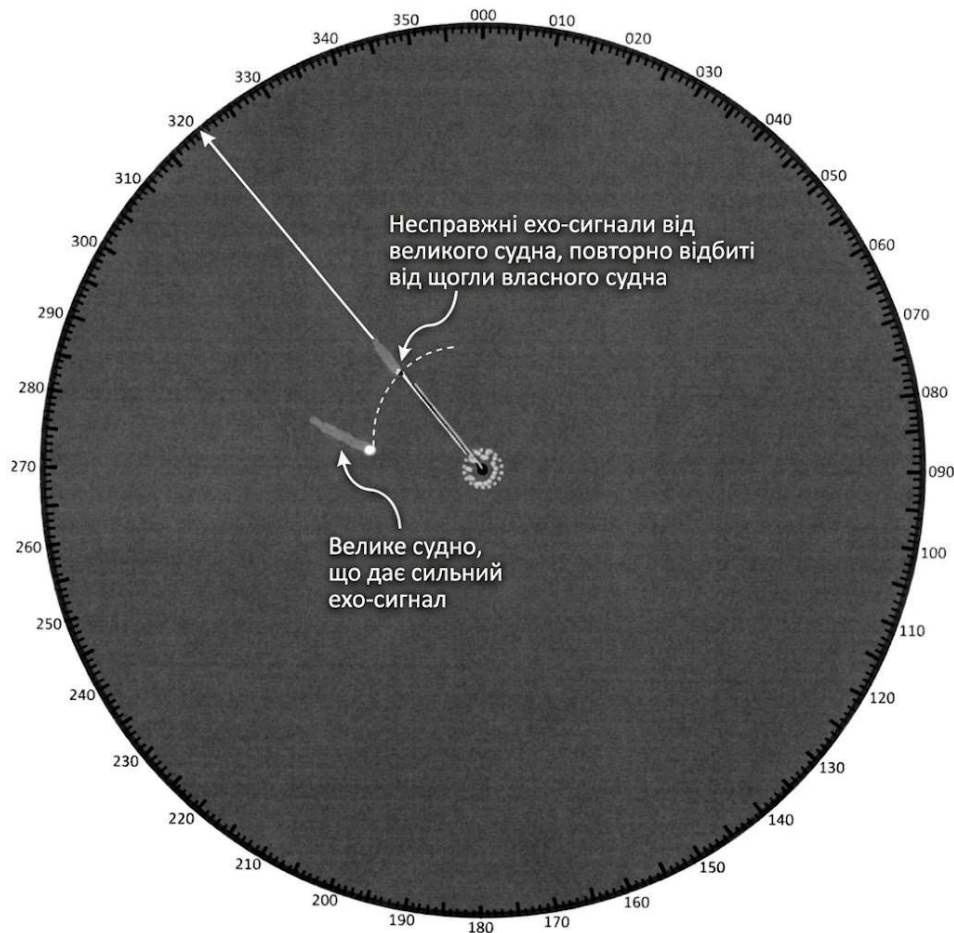


Рисунок 1.24 – Відображення повторного відбиття на екрані РЛС

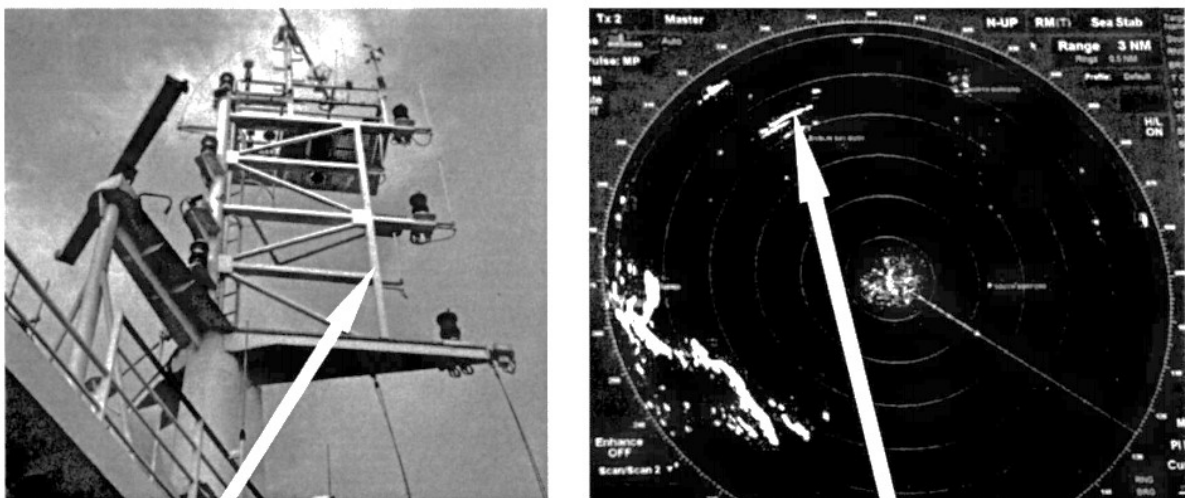


Рисунок 1.25 – Приклад конструкції, що викликає повторні відбиття, та її відображення на екрані РЛС

1.3.2. Повторні відбиття від інших об'єктів

Повторні відбиття можуть виникати не лише від конструкції власного судна, а й унаслідок наявності добре відбиваючих поверхонь зовнішніх об'єктів. Типовою ситуацією є рух поблизу судна з високим бортом, який утворює ефективну відбивну поверхню.

У таких умовах відбиття інших суден, берегових об'єктів або навігаційних знаків можуть з'являтися на екрані у напрямку цього великого судна. У результаті формується хибна відмітка, яка не відповідає реальному положенню цілі.

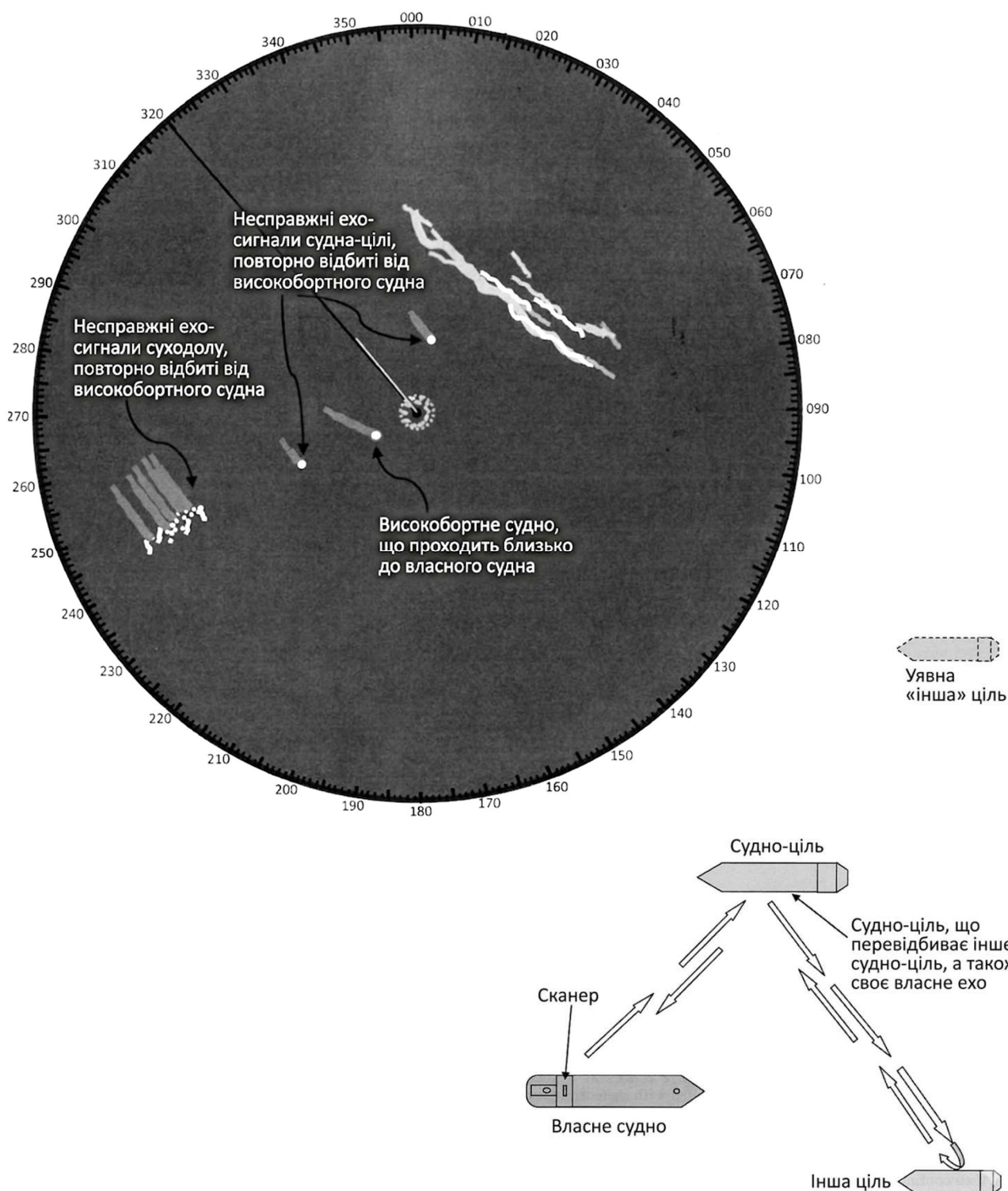


Рисунок 1.26 – Повторне відбиття від стороннього об'єкта

Подібний ефект можуть спричиняти й інші об'єкти, хоча вони не завжди настільки очевидні. У деяких випадках відбивна поверхня є менш вираженою, що ускладнює розпізнавання таких відміток.

Характерною ознакою хибних відміток цього типу є їх поведінка під час руху судна. У міру проходження повз відбивний об'єкт хибна відмітка, як правило, зміщується швидше, ніж відповідна реальна ціль. Це пов'язано з геометрією подвійного відбиття і може бути використано як важлива діагностична ознака. Додатковою ознакою є зникнення відмітки або зміна її положення при зміні курсу або ракурсу відносно відбивної поверхні.

Окремим різновидом, який історично призводив до аварійних ситуацій, є відбиття від повітряних ліній електропередач, що перетинають судноплавні канали.

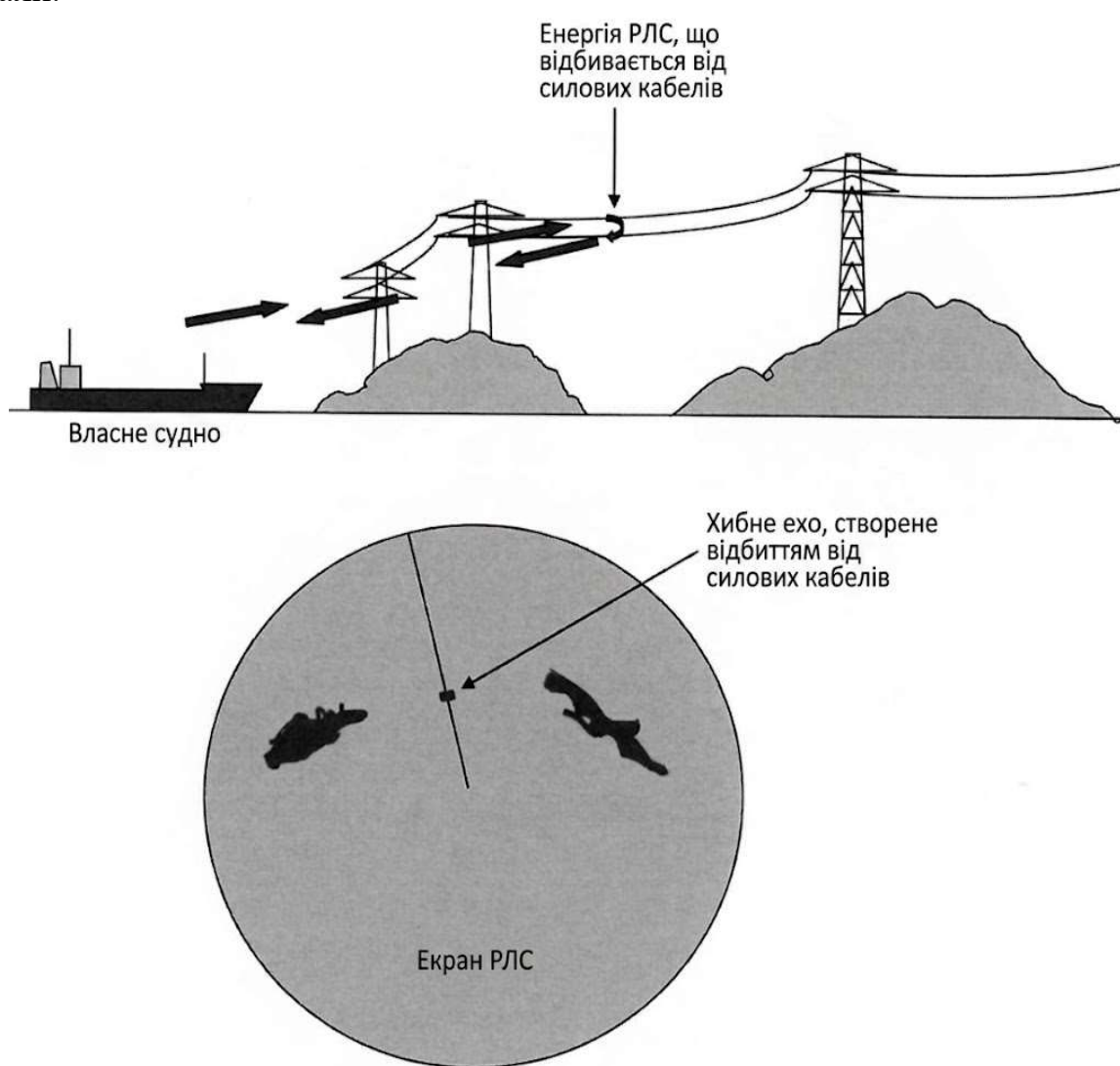


Рисунок 1.27 – Хибна відмітка, утворена повітряними лініями електропередач

У цьому випадку на екрані може формуватися відмітка, яка фактично є дзеркальним відображенням власного судна. Вона виглядає як ціль, що наближається з протилежного напрямку. При зміні курсу власного судна така відмітка змінює напрямок руху у протилежний бік, створюючи ілюзію зустрічного зближення.

Особливу небезпеку становить те, що інших ознак наявності лінії електропередач на екрані може не бути. У таких умовах оператор може помилково інтерпретувати ситуацію як реальне розходження із судном, що призводить до неправильних дій.

Аналогічний механізм може виникати під час проходження під мостами або іншими протяжними конструкціями, що перекривають акваторію. У цьому випадку радіолокаційна енергія відбивається від конструкції мосту і повторно – від власного судна, формуючи хибну відмітку.

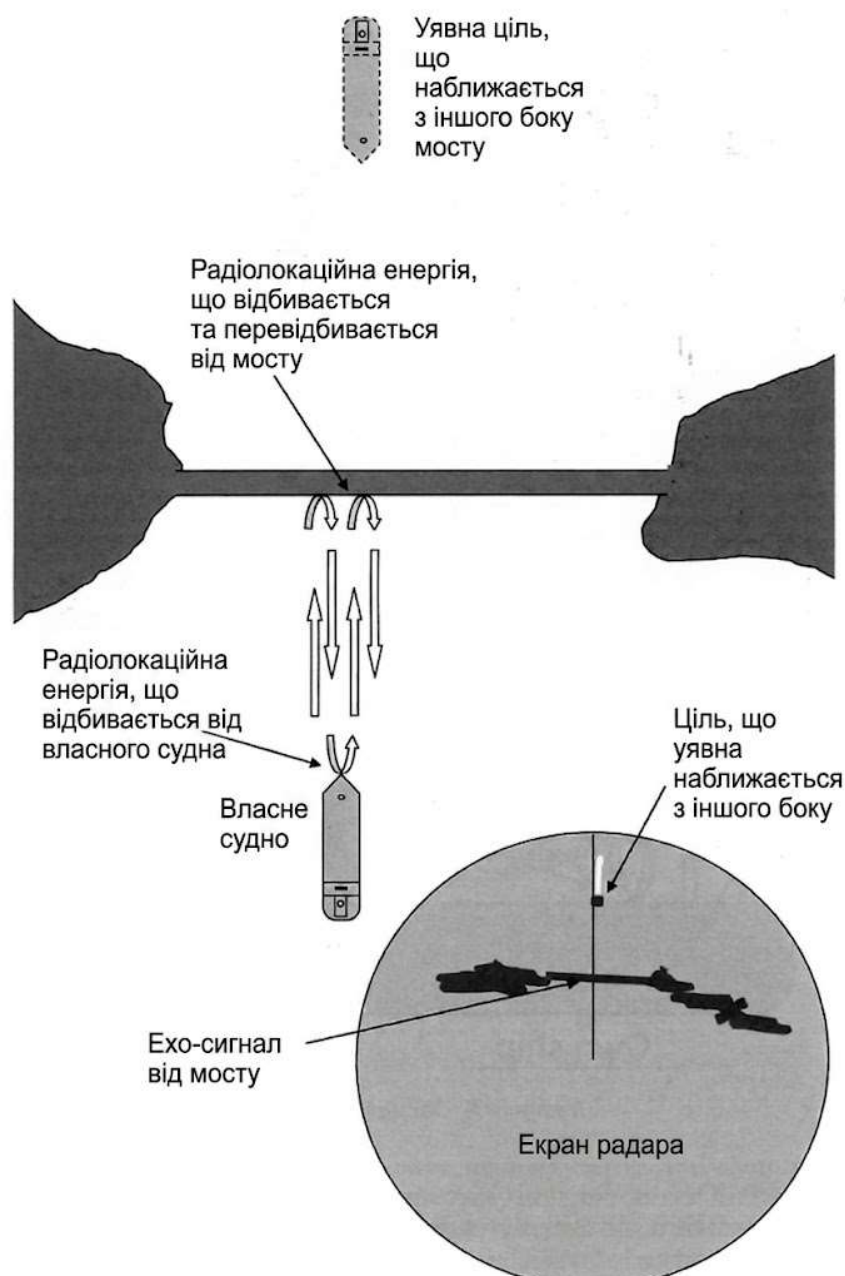


Рисунок 1.28 – Повторне відбиття від мосту та формування хибної відмітки

На екрані це проявляється як ціль, що ніби наближається з іншого боку мосту або з протилежного напрямку. Такі відмітки можуть мати відносно стабільний характер, що ускладнює їх розпізнавання без урахування реальної навігаційної обстановки.

У практиці судноводіння важливо враховувати, що всі подібні ефекти визначаються геометрією взаємного розташування судна, відбивного об'єкта та цілі. Саме тому зміна курсу, швидкості або масштабу огляду часто дозволяє уточнити характер відмітки і відрізнити її від реальної цілі.

1.3.3. Багатократні відбиття

Багатократні відбиття виникають у ситуаціях, коли власне судно перебуває поблизу добре відбиваючої поверхні, наприклад поруч із судном із високим бортом. У таких умовах радіолокаційна енергія після відбиття від цілі може додатково відбиватися від конструкції власного судна, а потім знову досягати цілі або повертатися до приймача.

У найпростішому випадку сигнал відбивається від іншого судна і формує нормальну відмітку. Однак частина енергії при цьому відбивається від конструкції власного судна, після чого знову потрапляє на ціль і повторно відбивається. У результаті формується додаткова відмітка, яка розташовується на тому ж пеленгу, але на більшій дальності.

Як правило, така відмітка з'являється приблизно на подвоєній відстані відносно реальної цілі. Якщо процес повторюється, на екрані утворюється серія відміток, розташованих в одному напрямку і рівновіддалених одна від одної. При цьому інтенсивність сигналу поступово зменшується з кожним наступним відбиттям.

Таким чином формується характерна картина – ряд відміток на одному пеленгу зі спадною яскравістю. Саме ця регулярність є основною ознакою, що дозволяє відрізнити багатократні відбиття від реальних цілей.

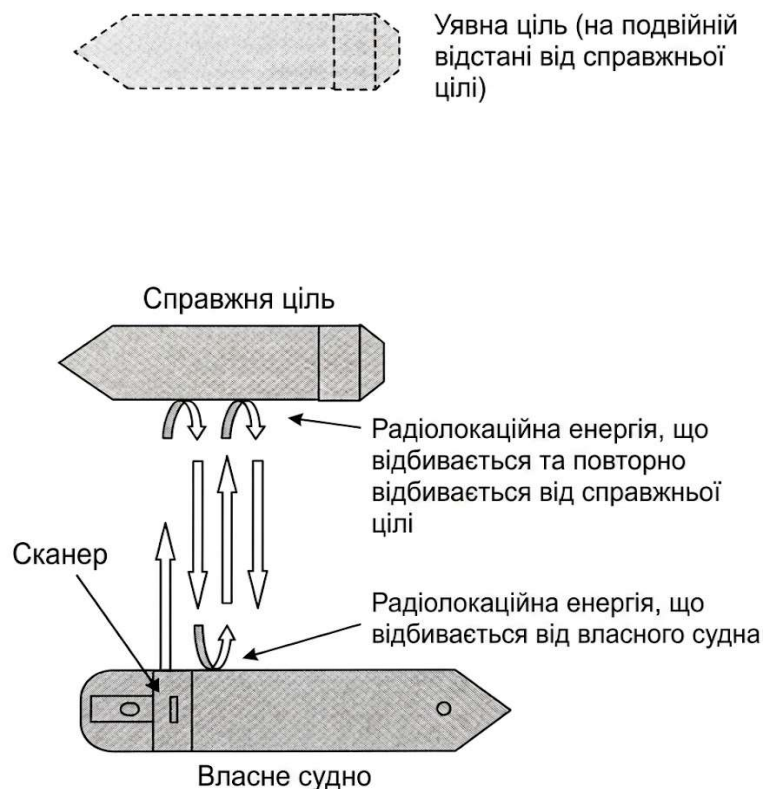


Рисунок 1.29 – Схема утворення багатократних відбиттів

Слід підкреслити, що такі відмітки зазвичай добре розпізнаються саме завдяки їхній впорядкованій геометричній структурі. На відміну від випадкових перешкод, вони формують послідовність, яка повторюється і піддається логічному поясненню.

Водночас у складних умовах, особливо при інтенсивному русі або наявності кількох потужних відбиваючих об'єктів, картина може ускладнюватися. У таких ситуаціях багатократні відмітки можуть накладатися на інші сигнали і ускладнювати інтерпретацію радіолокаційної обстановки.

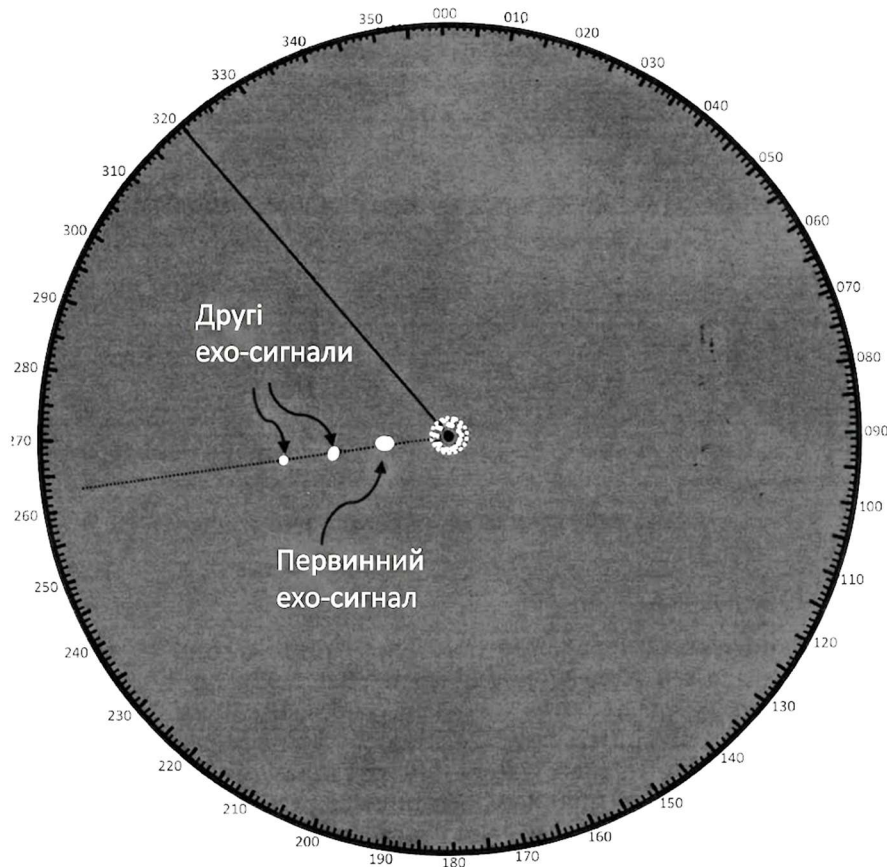


Рисунок 1.30 – Відображення багатократних відміток на екрані РЛС

1.3.4. Відмітки другого проходження (Second trace echoes)

Відмітки другого проходження виникають у тих випадках, коли сигнал, відбитий від віддаленої цілі, повертається до приймача вже після випромінення наступного імпульсу.

Принцип роботи радіолокатора полягає в тому, що передавач випромінює імпульси з певною частотою повторення, а система визначає дальність до цілі за часом повернення відбитого сигналу. Якщо ж ціль знаходиться на значній відстані, час проходження сигналу до неї і назад може перевищувати інтервал між двома імпульсами.

У такому випадку відбитий сигнал повертається вже після випромінення наступного імпульсу і помилково інтерпретується як відбиття від нього. Це призводить до неправильного визначення дальності: ціль відображається на екрані ближче, ніж вона знаходиться насправді.

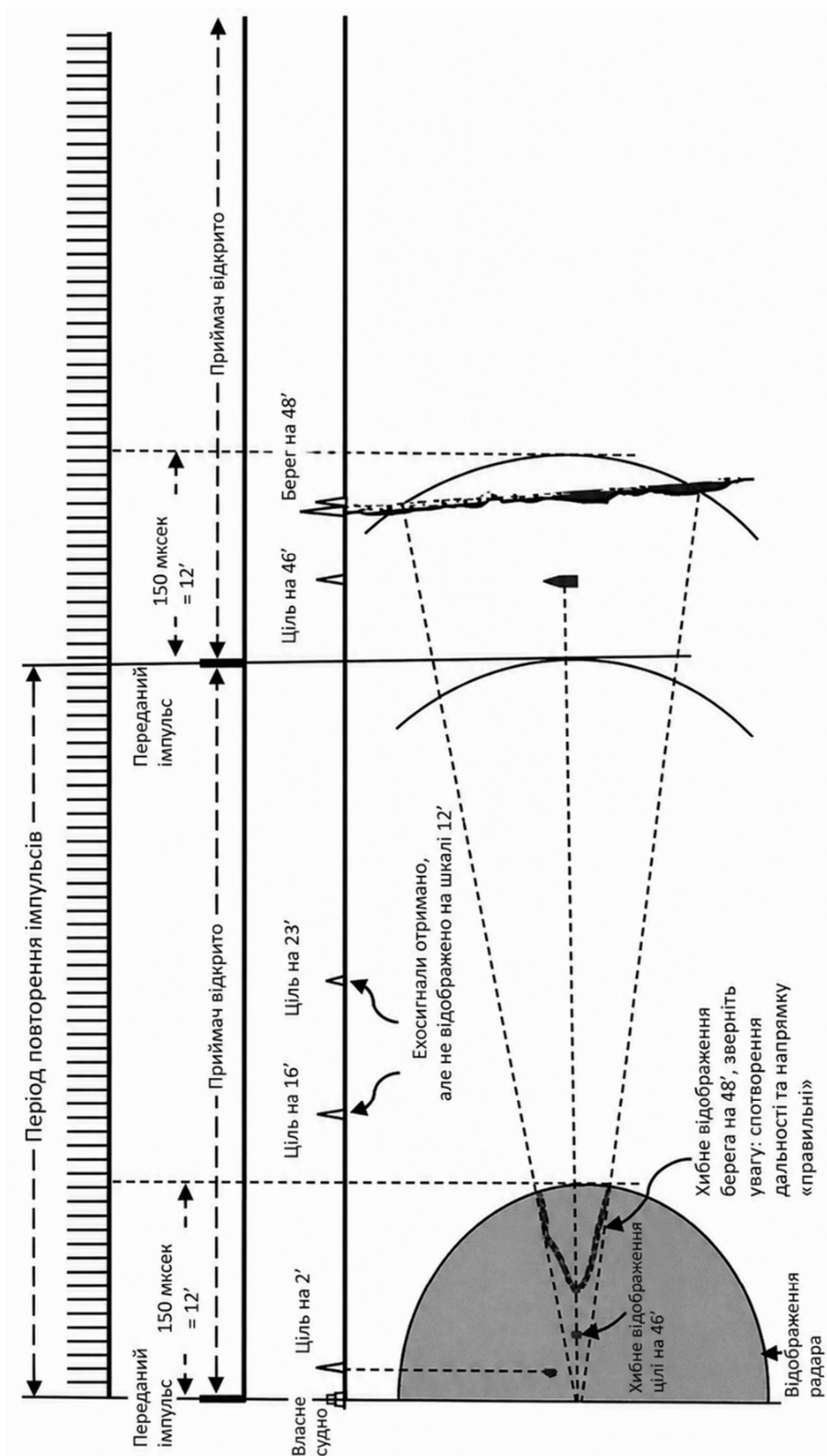


Рисунок 1.31 – Утворення відміток другого проходження

У результаті одна і та сама ціль може спостерігатися у двох положеннях – у своєму дійсному місці та у вигляді хибної відмітки на меншій дальності. Положення цієї хибної відмітки визначається співвідношенням між реальною відстанню до цілі та максимальною однозначною дальністю радара.

Ймовірність виникнення такого ефекту безпосередньо пов'язана з частотою повторення імпульсів (PRF). При високих значеннях PRF інтервал між імпульсами зменшується, що підвищує ймовірність накладання сигналів від різних імпульсів. Саме тому відмітки другого проходження найчастіше спостерігаються при роботі на малих масштабах огляду.

Важливо враховувати, що такі відмітки можуть виглядати цілком достовірно і не мати очевидних ознак хибності. Їх розпізнавання ґрунтується передусім на розумінні механізму виникнення.

Практичними ознаками можуть бути поява відмітки на нетиповій дальності або її зникнення при зміні масштабу огляду, що супроводжується зміною частоти повторення імпульсів.

1.3.5. Перешкоди від інших радіолокаторів та природні відмітки

Перешкоди від інших радіолокаторів виникають у випадках, коли поблизу працюють інші РЛС із близькими робочими частотами. У таких умовах приймач може реєструвати імпульси стороннього передавача.

Оскільки ці сигнали не синхронізовані з роботою власного радіолокатора, їх поява на екрані має випадковий характер і не пов'язана з реальною радіолокаційною обстановкою. На індикаторі кругового огляду вони зазвичай проявляються у вигляді радіальних штрихів або пунктирних ліній, що виходять від центру екрана до його периферії. Такі лінії можуть змінювати інтенсивність і положення від оберту до оберту антени.

Характерною ознакою цих перешкод є відсутність стабільної прив'язки до пеленга або дальності. Вони можуть з'являтися і зникати, змінюючи конфігурацію незалежно від реальної обстановки.

Причина такого ефекту полягає в тому, що імпульси стороннього радіолокатора потрапляють у приймач у довільні моменти часу. Система інтерпретує їх як сигнали, що надійшли з напрямку, який відповідає положенню антени в момент прийому, що і формує характерну картину радіальних штрихів.

Сучасні радіолокаційні станції оснащуються системами пригнічення таких перешкод (Interference Rejection), які виявляють сигнали, що не відповідають часовим характеристикам власного передавача, і зменшують їх вплив на зображення. Водночас надмірне використання цих режимів може призводити до втрати слабких відбиттів від реальних цілей, особливо на великих дистанціях або в складних гідрометеорологічних умовах.

Окрім техногенних перешкод, на екрані радіолокатора можуть з'являтися сигнали, пов'язані з природними явищами. На відміну від розглянутих раніше випадків, такі відмітки не є хибними у строгому сенсі, оскільки відповідають реальним об'єктам або процесам у навколишньому середовищі.

До найпоширеніших джерел належать опади, морське хвилювання, зона прибою, течії та скупчення птахів. Усі ці явища здатні відбивати радіолокаційну енергію і формувати відповідні сигнали на екрані.

Метеорологічні утворення, зокрема зони інтенсивних опадів, зазвичай проявляються як протяжні області підвищеної яскравості. Вони можуть частково або повністю закривати відмітки від реальних цілей, особливо якщо ці цілі мають малу ефективну площу відбиття.

Морське хвилювання створює характерний фон перешкод, особливо в ближній зоні огляду. Відбиття від гребенів хвиль формують зернисту або суцільну структуру сигналу, що ускладнює виявлення малих об'єктів.

У прибережних районах додаткові відмітки виникають у зоні прибою або над рифами. Вони мають відносно стабільне положення, але їх інтенсивність змінюється залежно від стану моря.

Скупчення птахів іноді формують відмітки, які можуть бути прийняті за невеликі судна. Такі сигнали, як правило, нестійкі, змінюють форму і положення, що дозволяє відрізнити їх від реальних цілей при уважному спостереженні.

У практиці судноводіння важливо враховувати, що як техногенні перешкоди, так і природні відмітки можуть суттєво впливати на сприйняття радіолокаційної обстановки. Їх правильна інтерпретація ґрунтується на аналізі форми сигналу, його стабільності та поведінки у часі, а також на вмілому використанні режимів налаштування радіолокатора.

1.3.6. Інтерпретація сумнівної інформації

У реальних умовах роботи радіолокаційної станції оператор часто має справу з відмітками, природа яких не є однозначною. Частина сигналів може поєднувати ознаки реальних цілей, перешкод або хибних відбиттів, що істотно ускладнює їх інтерпретацію.

У таких умовах важливим є не лише факт виявлення відмітки, а й правильне визначення її характеру. Будь-яка відмітка, щодо якої виникає сумнів, повинна розглядатися як потенційно значуща для безпеки плавання доти, доки не буде отримано достатніх підтверджень її природи.

Оцінювання виконується передусім за поведінкою відмітки на екрані радару. Враховується стабільність її положення, характер зміни дальності та пеленгу, форма відображення і інтенсивність сигналу. Додаткові можливості дає варіювання режимів роботи РЛС – зміна масштабу огляду, регулювання підсилення, використання або вимкнення засобів пригнічення перешкод.

Важливим прийомом є зіставлення радіолокаційної інформації з іншими джерелами. Порівняння даних РЛС із візуальними спостереженнями, інформацією АІС, ЕКНІС та іншими навігаційними засобами дозволяє уточнити положення і характер цілі, а також виявити можливі хибні відмітки.

Водночас необхідно враховувати, що радіолокаційне зображення може містити похибки, зумовлені як умовами поширення радіохвиль, так і налаштуваннями апаратури або геометрією відбиття. У зв'язку з цим вирішальне значення має людський елемент – здатність судноводія аналізувати отриману інформацію, виявляти невідповідності та приймати обґрунтовані рішення.

Практика експлуатації радіолокаторів показує, що помилки найчастіше виникають саме на етапі інтерпретації. Небезпека виникає як у разі прийняття хибної відмітки за реальну ціль, так і при ігноруванні дійсного об'єкта, який помилково сприймається як перешкода.

Тому за наявності сумнівів доцільно застосовувати обережний підхід, оцінюючи ситуацію з урахуванням найменш сприятливого варіанта і уникаючи дій, що можуть призвести до небезпечного зближення або втрати контролю над обстановкою.

Ефективне використання радіолокаційної інформації визначається не лише технічними характеристиками станції, але й рівнем підготовки судноводія, його досвідом і здатністю працювати з неповною або суперечливою інформацією.

1.4. Відбивні властивості цілей і стабільність їх відображення

Здатність радіолокаційної станції виявляти та відображати цілі визначається не лише характеристиками самої РЛС, але й фізичними властивостями об'єктів, від яких відбивається сигнал. У цьому підрозділі розглядаються основні фактори, що формують відбитий сигнал, а також умови, від яких залежить стабільність відображення цілей на екрані.

Для спрощення аналізу ці фактори доцільно розглядати окремо, хоча в реальних умовах більшість об'єктів поєднує в собі кілька характеристик одночасно, що ускладнює інтерпретацію радіолокаційної інформації.

Багато властивостей радіолокаційного відбиття мають очевидну аналогію з поведінкою світлового променя та відбиттям світла від поверхонь. Саме тому використання таких порівнянь дозволяє наочно пояснити механізми формування відбитого сигналу.

У подальшому розглядаються основні фактори, що визначають відбивні властивості цілей:

- кут (аспект), під яким відбивна поверхня орієнтована відносно радіолокаційного променя;
- текстура поверхні та її вплив на характер відбиття;
- матеріал об'єкта;
- розміри і форма цілі;
- застосування спеціальних засобів підсилення відбиття (RACON, RTE, SART).

1.4.1. Кут (аспект) відбивної поверхні

Кут, під яким відбивна поверхня орієнтована відносно радіолокаційного променя, є одним із визначальних факторів, що впливають на силу відбитого сигналу.

Якщо поверхня розташована перпендикулярно до променя, вона ефективно відбиває енергію назад у напрямку антени. У цьому випадку формується чітка і інтенсивна відмітка. Це однаково справедливо як для горизонтальних, так і для вертикальних поверхонь.

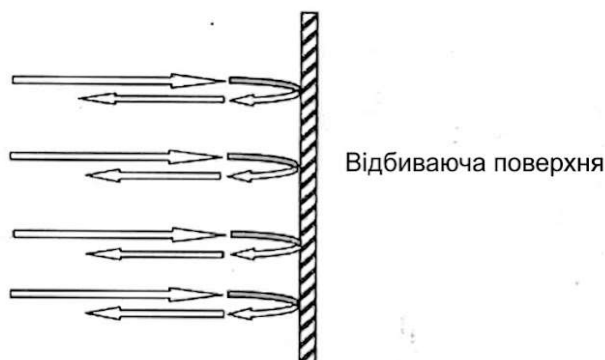
Якщо ж та сама поверхня нахилена відносно променя, значна частина енергії відбивається вбік, і лише незначна її частина повертається до приймача. У результаті сигнал слабшає або може зовсім не реєструватися.

Цей ефект зручно пояснювати за аналогією з відбиттям світла від дзеркала. Коли дзеркало орієнтоване перпендикулярно до променя світла, відбиття повертається до джерела. При нахилі дзеркала промінь відхиляється в іншому напрямку, і повернення сигналу до джерела вже не відбувається.

У практиці судноводіння це означає, що відображення однієї і тієї ж цілі може істотно змінюватися залежно від її взаємної орієнтації з судном. Навіть великі об'єкти можуть давати слабкий або нестійкий сигнал, якщо їх відбивні поверхні не спрямовані у бік антени.

Хороший аспект

Енергія радара
відбивається
безпосередньо назад



Поганий аспект

Енергія радара
відбивається вбік

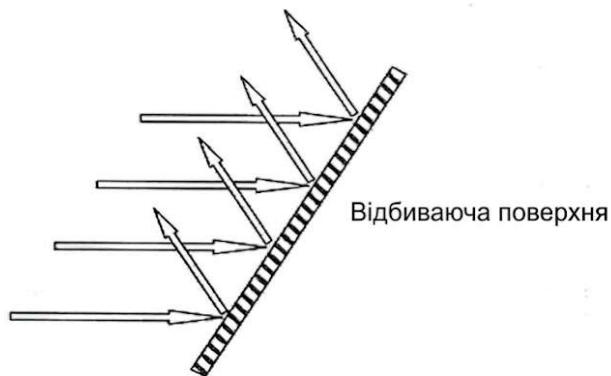


Рисунок 1.32 – Вплив кута (aspect) відбивної поверхні на характер відбиття

1.4.2. Текстура поверхні

Як зазначалося раніше, гладкі поверхні відбивають радіолокаційну енергію подібно до дзеркала, тобто у визначеному напрямку. У цьому випадку відбитий сигнал може бути інтенсивним, але лише за умови, що геометрія відбиття забезпечує повернення енергії до антени.

Шорсткі поверхні поведуться інакше: вони розсіюють радіолокаційну енергію в різних напрямках, унаслідок чого певна її частина повертається до приймача незалежно від точного кута падіння променя.

Ступінь шорсткості поверхні оцінюється відносно довжини хвилі радіолокаційного випромінювання. Поверхня, яка виглядає гладкою для світла, може бути шорсткою для радіолокаційного сигналу через значно більшу довжину хвилі.

Аналогія зі світлом добре ілюструє цей ефект. Промінь, що падає на матову пофарбовану поверхню, розсіюється у різних напрямках, завдяки чому така поверхня залишається видимою під різними кутами. Подібним чином “шорстка” для радіолокатора поверхня формує відбиття у широкому секторі.

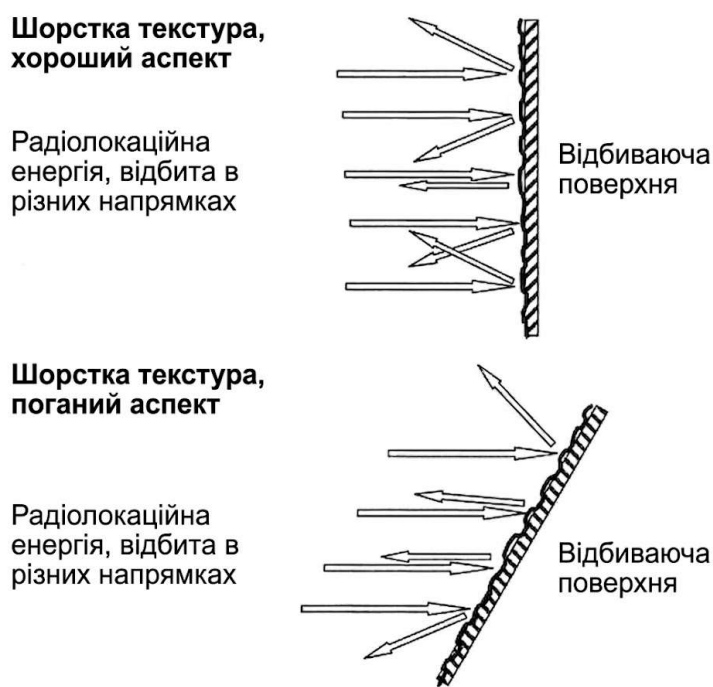


Рисунок 1.33 – Вплив текстури поверхні на характер розсіювання радіолокаційної енергії

У практиці це означає, що стабільність відображення цілі визначається не лише її орієнтацією, але й характером поверхні. Поєднання кута (аспекту) та текстури визначає, наскільки надійно об’єкт буде спостерігатися на екрані. Саме тому одна й та сама ціль може добре відображатися в одному положенні і майже зникати в іншому.

1.4.3. Матеріал відбивної поверхні

Матеріал об’єкта відіграє важливу роль у формуванні радіолокаційного відгуку. Загалом матеріали, які добре проводять електричний струм, є ефективними відбивачами радіолокаційної енергії.

Це пояснюється тим, що в провідних матеріалах під дією електромагнітного поля індукуються струми, які формують вторинне випромінювання. Саме це перевипромінювання і сприймається радіолокатором як відбитий сигнал.

Непровідні матеріали поведуться інакше. Значна частина енергії в них поглинається і переходить у тепло, що призводить до ослаблення відбиття. Подібний ефект можна спостерігати, наприклад, у мікрохвильових печах, де електромагнітна енергія перетворюється на тепло всередині речовини.

Для різних матеріалів характерні різні рівні відбивної здатності. У спрощеному вигляді їх можна охарактеризувати так:

- сталь – дуже високий рівень відбиття;
- морська вода – високий рівень;
- лід (без солі) – середній рівень;
- суша з короткою рослинністю – помірний рівень;
- суша з високою рослинністю – низький рівень;
- зарості або ліс – дуже низький рівень.

Відбивні властивості матеріалів, що використовуються в суднобудуванні, можуть бути узагальнені у вигляді таблиці.

Таблиця 1.2 – Відносна густина матеріалів і їх відбивна здатність

Матеріал	Відносна густина	Відбивна здатність
Деревина (від м'яких до твердих порід)	0,3 – 0,9	низька
Склопластик (GRP)	1,5 – 2,0	низька
Алюміній	2,7	низька
Сталь	7,7	висока
Мідь, латунь, фосфориста бронза	8,0	висока

На практиці слід враховувати, що навіть судна, побудовані з матеріалів із низькою відбивною здатністю, зазвичай містять металеві елементи – двигуни, такелаж, кріплення. Саме вони часто формують основну частину радіолокаційного відбиття.

Водночас такі судна, як правило, дають слабший і менш стабільний сигнал порівняно зі сталевими корпусами. Саме тому на малих судах застосовуються спеціальні відбивачі (echo enhancers), які підвищують їх радіолокаційну помітність.



Рисунок 1.34 – Вплив матеріалу судна на характер радіолокаційного відбиття

Таким чином, матеріал безпосередньо визначає “яскравість” цілі на екрані. Через це невеликі дерев’яні або пластикові судна можуть бути малопомітними, особливо в складних умовах спостереження.

1.4.4. Розміри цілі

Розміри цілі або відбивної поверхні безпосередньо впливають на кількість енергії, що повертається до приймача. Чим більша площа, “підставлена” під

радіолокаційний промінь, тим більша частина випроміненої енергії відбивається, а отже, тим інтенсивнішим буде сигнал.

Водночас цей зв'язок не є прямолінійним. Якщо дві поверхні мають однакову площу, але різну форму або орієнтацію, їх радіолокаційний відгук може суттєво відрізнятись.

Особливе значення має співвідношення висоти і ширини об'єкта. Радіолокаційний промінь, як правило, має більшу вертикальну ширину, ніж горизонтальну, тому у певний момент часу більша частина енергії взаємодіє саме з вертикально протяжними елементами.

Унаслідок цього вузька, але висока ціль може давати сильніший сигнал, ніж широка, але низька, навіть за однакової площі.

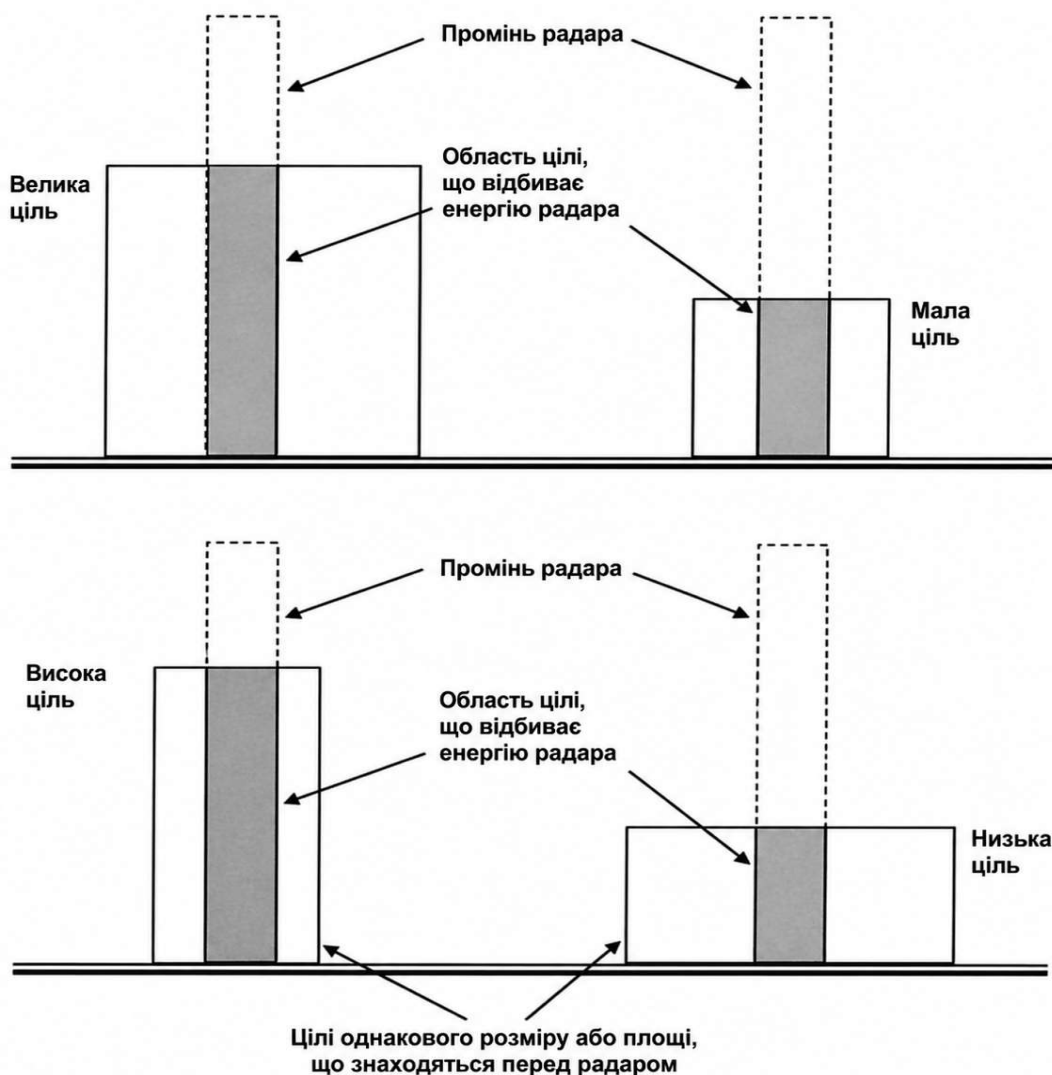


Рисунок 1.35 – Вплив геометричних розмірів цілі на характер відбиття

Разом із тим реальні об'єкти, зокрема судна, формують відбиття не від однієї поверхні, а від сукупності конструктивних елементів. Відбитий сигнал надходить у вигляді серії імпульсів, які в сумі формують загальне зображення цілі на екрані.

У цьому контексті широка ціль зазвичай виглядає більш протяжною, оскільки створює розтягнуту область відбиття. Водночас вузька і висока ціль,

завдяки більшій інтенсивності сигналу, може виявлятися на значно більшій дальності.

Таким чином, доцільно розрізняти два аспекти: дальність виявлення, що визначається інтенсивністю відбитого сигналу, і візуальні розміри відмітки на екрані, які залежать від просторового розподілу відбиття.

Це пояснює, чому відносно невеликі, але високі об'єкти, такі як щогли або навігаційні знаки, можуть виявлятися на значній відстані, тоді як масивні, але низькі об'єкти іноді залишаються малопомітними.

1.4.5. Ефективна площа розсіювання (Radar Cross Section)

Для кількісної оцінки здатності об'єкта відбивати радіолокаційну енергію використовується поняття ефективної площі розсіювання (σ). Вона характеризує інтенсивність відбитого сигналу і дозволяє порівнювати різні об'єкти незалежно від їх геометричної форми.

Ефективна площа розсіювання не є реальною фізичною площею об'єкта. Її слід розглядати як еквівалентну площу, яка створює такий самий рівень відбитого сигналу, як і досліджувана ціль. При цьому мається на увазі умовна поверхня, яка розсіює енергію рівномірно в усіх напрямках, тобто є ізотропною.

Як еталон зручно використовувати сферу, оскільки вона забезпечує відносно рівномірний розподіл відбитої енергії. Тому ефективну площу розсіювання часто співвідносять із площею поперечного перерізу еквівалентної сфери.

Для окремих ідеалізованих випадків ефективну площу розсіювання можна оцінити аналітично.

Для металеві сфери радіусом r :

$$\sigma = \pi r^2$$

Для плоскої металеві пластини площею A , орієнтовані перпендикулярно до напрямку поширення хвилі:

$$\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}$$

де λ – довжина хвилі.

Ці співвідношення демонструють принципову відмінність між геометричною площею і ефективною площею розсіювання. Для плоскої поверхні значення σ зростає пропорційно квадрату площі та обернено пропорційне квадрату довжини хвилі. Це означає, що навіть відносно невелика металева пластина може формувати надзвичайно сильний радіолокаційний відгук.

Наприклад, для пластини площею 1 м^2 при довжині хвилі $3,2 \text{ см}$ ефективна площа розсіювання становить величину порядку 10^4 м^2 . Іншими словами, така поверхня відбиває сигнал у тисячі разів інтенсивніше, ніж сфера з тією самою геометричною площею.

Саме цим пояснюється, чому конструктивні елементи суден – вертикальні перебірки, надбудови, антени – формують основну частину радіолокаційного відбиття.

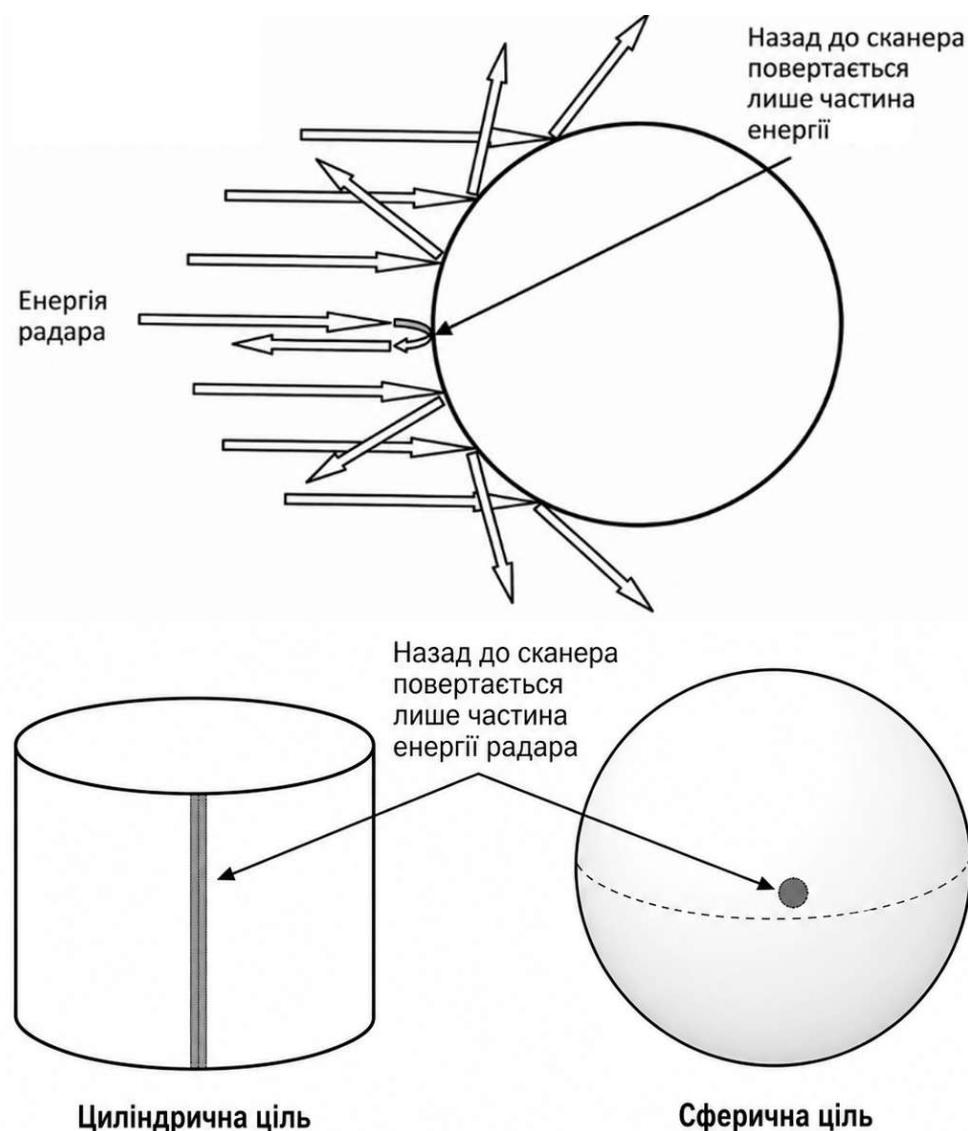


Рисунок 1.36 – Відбиття радіолокаційної енергії сферичними та циліндричними об'єктами

Аналіз геометричних форм показує, що не вся поверхня об'єкта бере участь у формуванні відбиття. Для сферичних і циліндричних тіл лише окремі ділянки повертають енергію у напрямку джерела, тоді як інші розсіюють її в різні боки.

Особливо показовою є конічна форма: для неї практично відсутні ділянки, що ефективно повертають енергію до антени, тому такі об'єкти можуть залишатися малопомітними навіть при значних розмірах.

Для тіл із плоскими гранями ситуація протилежна: якщо площа орієнтована перпендикулярно до променя, відбиття максимальне, а при зміні орієнтації інтенсивність сигналу різко зменшується.

Отже, ефективна площа розсіювання визначається не лише формою і розмірами об'єкта, але й його орієнтацією відносно радара. Один і той самий об'єкт може бути добре помітним або майже невидимим залежно від курсового кута.

Практичне значення цього підтверджується даними щодо дальності виявлення різних об'єктів за нормальних умов і при висоті антени близько 15 м. Типові значення мають такий порядок:

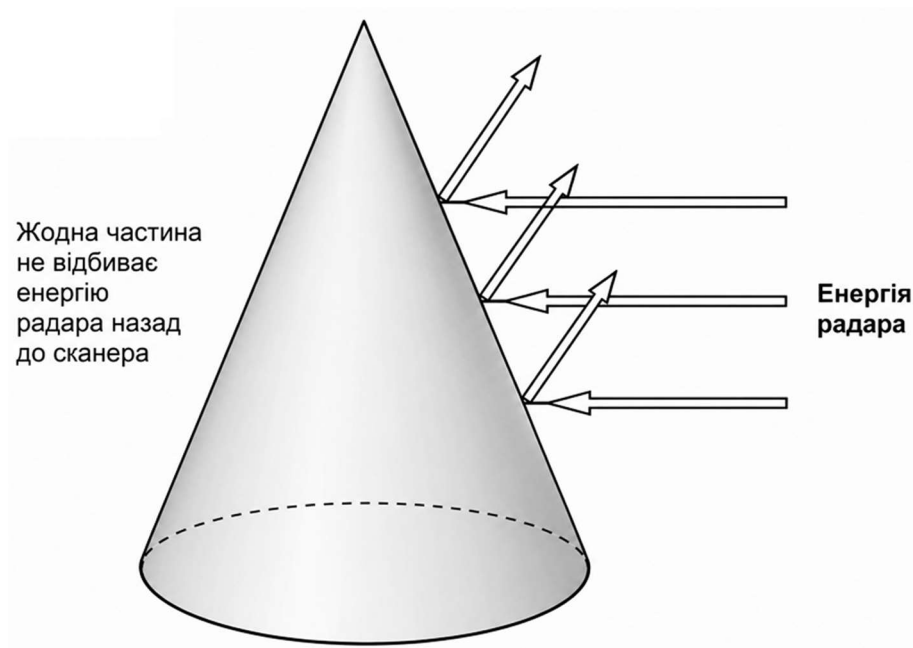
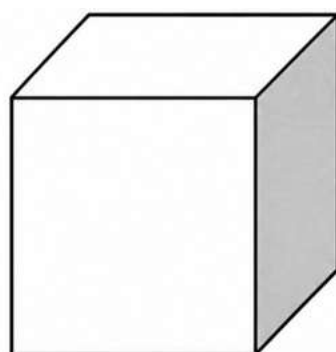


Рисунок 1.37 – Відбиття радіолокаційної енергії від конічної поверхні



Відбитий сигнал залежить від орієнтації цілі.

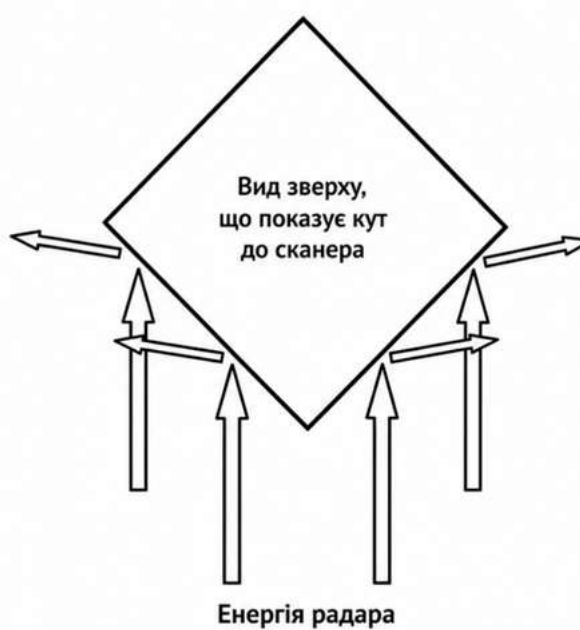


Рисунок 1.38 – Вплив орієнтації площини на інтенсивність відбиття

- високі берегові утворення і гори – 15–40 миль;
- узбережжя висотою близько 60 м – близько 20 миль;
- узбережжя висотою близько 6 м – близько 7 миль;
- пірси та хвилеломи – 5–10 миль;
- низькі піщані береги – 1–5 миль;
- судно водотоннажністю близько 5000 т – близько 10 миль;
- рибальські судна – 3–5 миль;
- малі дерев'яні човни – 1–4 милі;
- конічні буї – близько 2 миль;
- буї з радіолокаційними відбивачами – до 5 миль;
- айсберги – 3–15 миль;
- дрібні уламки льоду – 0–3 милі.

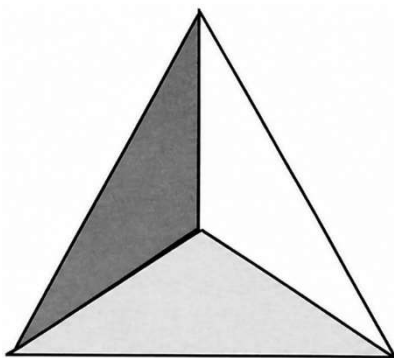
Наведені значення мають орієнтовний характер, однак добре ілюструють вплив ефективної площі розсіювання на реальні можливості виявлення цілей у морській навігації.

1.4.6. Радіолокаційні відбивачі

З урахуванням особливостей відбиття радіолокаційної енергії розроблено спеціальні пристрої, призначені для підвищення радіолокаційної помітності об'єктів, які самі по собі формують слабкий сигнал.

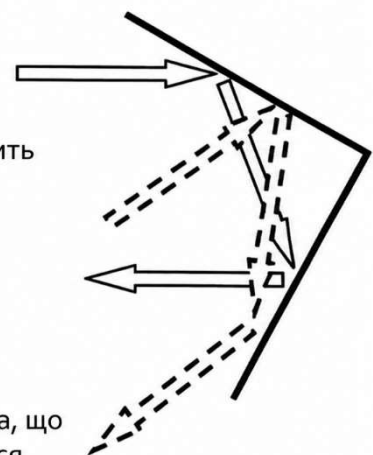
Потреба в таких засобах виникає насамперед для об'єктів, виготовлених із матеріалів із низькою електропровідністю, наприклад склопластику. Типовими прикладами є буї та малі судна, конструкція яких не забезпечує ефективного відбиття радіохвиль.

Найбільш поширеним рішенням є кутовий відбивач, конструкція якого базується на трьох взаємно перпендикулярних металевих площинах, що утворюють просторовий кут.



Кутовий відбивач. Три відбивні пластини взаємно перпендикулярні одна до одної

Енергія радару, що надходить у кут з різних напрямків



Принцип дії. Енергія радару, що надходить у кут, відбивається безпосередньо назад

Рисунок 1.39 – Кутовий радіолокаційний відбивач та принцип його дії

Принцип його роботи полягає в тому, що радіолокаційна енергія, потрапляючи всередину кута, послідовно відбивається від трьох поверхонь і

повертається назад у напрямку джерела. При цьому напрям приходу хвилі не є критичним, що забезпечує стабільний і інтенсивний радіолокаційний відгук.

Для підвищення ефективності застосовуються різні конфігурації кутових відбивачів. Однією з них є п'ятикутний кластер, у якому кілька відбивачів розташовуються по колу. Іншим поширеним варіантом є октаедрична конструкція, утворена пластинами, що формують декілька робочих кутів.

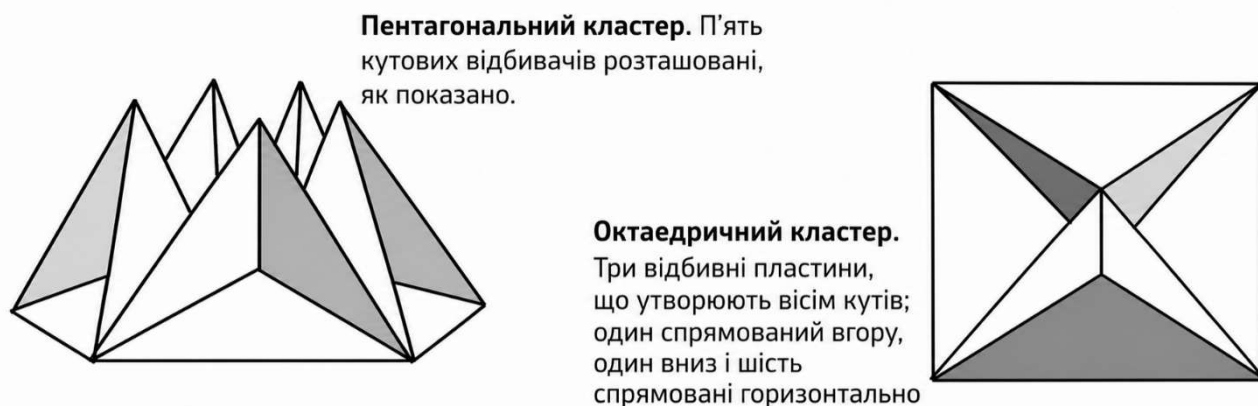


Рисунок 1.40 – Кластерні конфігурації кутових відбивачів

Ефективність таких систем залежить від їх орієнтації відносно джерела випромінювання. Найкращий результат досягається, коли відбивач “відкритий” у бік радара. На практиці це означає необхідність такого розміщення, яке забезпечує максимальну кількість робочих напрямків.

Для зменшення залежності від орієнтації використовують багатокомпонентні або каскадні конструкції, елементи яких розташовані під різними кутами. Це дозволяє уникнути “сліпих” секторів і сформувати більш рівномірну відбивну характеристику. Такі відбивачі зазвичай розміщуються в захисному корпусі і широко застосовуються на малих суднах.

Іншим типом пасивного відбивача є лінза Люнеберга, яка являє собою сферу з концентричних шарів матеріалу зі змінним показником заломлення.

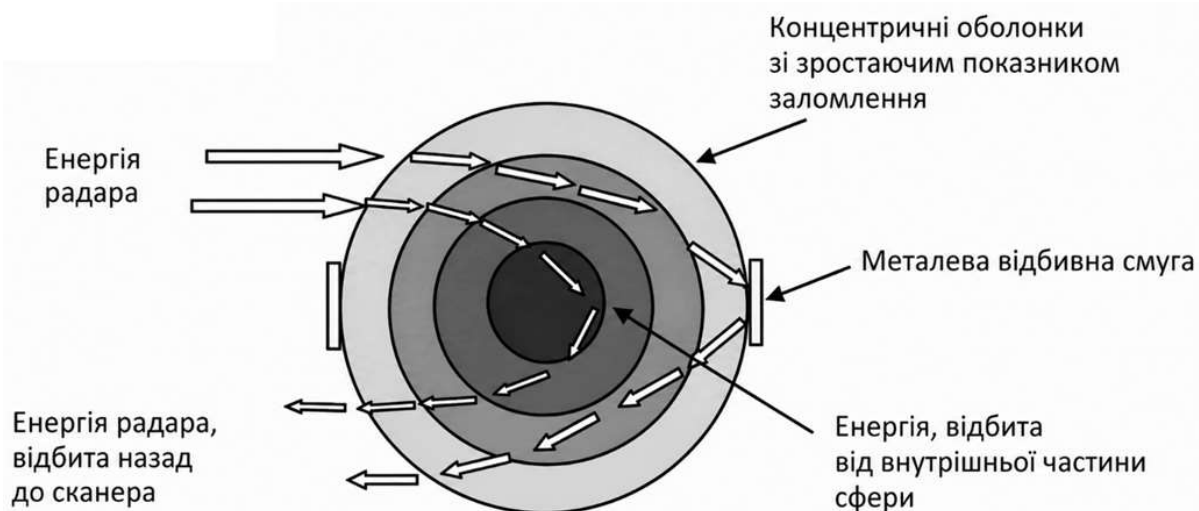


Рисунок 1.41 – Лінза Люнеберга та принцип формування зворотного відбиття

Радіолокаційна хвиля, проходячи крізь таку структуру, заломлюється і фокусується у точці на протилежному боці сфери, де розташовується відбивний елемент. Після відбиття хвиля проходить через лінзу у зворотному напрямку і повертається до джерела. Завдяки цьому забезпечується ефективне відбиття у широкому діапазоні напрямків.

Таким чином, застосування радіолокаційних відбивачів дозволяє компенсувати несприятливі властивості матеріалу і форми об'єкта, забезпечуючи надійне виявлення цілей засобами радіолокації.

1.4.7. Активні засоби підсилення радіолокаційного відбиття

Окрім пасивних відбивачів, у навігаційній практиці широко застосовуються активні пристрої, які не лише відбивають, а й формують відповідний сигнал у відповідь на радіолокаційне опромінення. Такі системи працюють у діапазонах суднових радарів і створюють добре помітні відмітки на екрані.

Найбільш поширеним типом є RACON – радіолокаційний відповідач. Принцип його роботи полягає у формуванні характерного сигналу у вигляді періодичного «спалаху» на індикаторі радара. Цей сигнал з'являється на деякій відстані за фактичним відбиттям від об'єкта, на якому встановлений RACON.

Основне призначення таких пристроїв – ідентифікація навігаційних об'єктів, зокрема буїв, маяків, морських платформ та інших засобів навігаційного забезпечення. Вони також застосовуються для позначення судноплавних прольотів мостів, визначення місця виходу на берег у районах зі слабо вираженою береговою лінією, а також для маркування небезпечних або нових, ще не нанесених на карти об'єктів.

У деяких випадках сигнал RACON може бути закодований за допомогою азбуки Морзе, що дозволяє однозначно ідентифікувати конкретний об'єкт.

Характерною особливістю є те, що сигнал RACON часто з'являється раніше, ніж відбиття від самого об'єкта. На малих дистанціях обидва сигнали спостерігаються одночасно, причому «спалах» розташовується трохи далі за основну відмітку. Відповідно до вимог ІМО, це зміщення не перевищує 100 м і зазвичай становить близько 75 м. Визначення дальності при цьому необхідно виконувати за основною відміткою.

Дальність виявлення сигналу RACON може досягати приблизно 15 морських миль.

Через різницю у робочих частотах суднових радарів (3 см і 10 см) більшість RACONів здійснює сканування широкого діапазону частот. Це дозволяє їм реагувати на випромінювання конкретного радара і формувати відповідний сигнал.

Важливою особливістю є імпульсний режим роботи: сигнал з'являється лише протягом одного або кількох обертів антени, після чого на певний час зникає. Такий режим запобігає перевантаженню індикатора і маскуванню інших цілей.

Сучасні частотно-адаптивні RACONи здатні визначати частоту вхідного сигналу і автоматично налаштовуватися на неї. Процес прийому, налаштування і

передачі відбувається за мікросекунди, однак це зумовлює невелику похибку у визначенні дальності, що проявляється як зміщення сигналу на екрані.

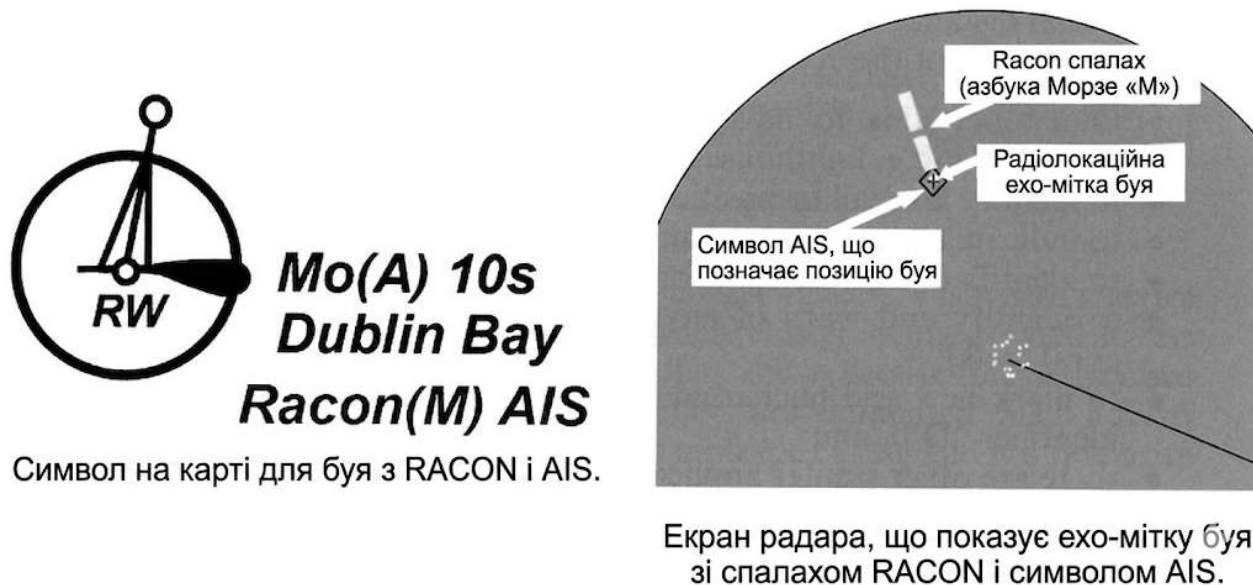


Рисунок 1.42 – Відображення буя, обладнаного RACON та AIS: картографічне позначення та радіолокаційна індикація

Під час спостереження сигналів RACON необхідно враховувати низку особливостей. Безперервна поява сигналу може маскувати інші цілі, тому передбачено режими періодичного «мовчання». Засоби обробки сигналу радара, зокрема пригнічення перешкод, можуть частково спотворювати або навіть приглушувати сигнал RACON, тому для його коректного спостереження іноді доцільно тимчасово змінювати налаштування фільтрації.

Крім того, можливе вторинне відбиття сигналу RACON від потужних об'єктів, що призводить до появи хибних відміток на неправильних пеленгах. Це також необхідно враховувати при інтерпретації радіолокаційної обстановки.

1.4.8. Активні засоби підсилення радіолокаційної відповіді (RTE і SART)

Підсилення радіолокаційної помітності об'єктів може здійснюватися не лише пасивними відбивачами, але й активними пристроями, які формують відповідь на радіолокаційне опромінення. До таких засобів належать підсилювачі радіолокаційної відповіді (Radar Target Enhancers, RTE) та рятувальні радіолокаційні відповідачі (Search and Rescue Transponder, SART).

Обидва типи пристроїв працюють за принципом прийому радіолокаційного сигналу і формування відповіді, однак їх призначення та характер відображення на екрані істотно відрізняються.

Підсилювачі радіолокаційної відповіді (RTE) призначені для підвищення інтенсивності відбитого сигналу від об'єктів із низькою власною відбивною здатністю. Принцип їх роботи полягає у прийомі радіолокаційного імпульсу, його підсиленні та повторному випромінюванні на тій самій частоті без суттєвої зміни тривалості або затримки сигналу. Відповідно до міжнародних вимог, ці параметри повинні залишатися мінімальними, щоб не спотворювати положення об'єкта на екрані.

У результаті застосування RTE відмітка виглядає як звичайне радіолокаційне відбиття, але з більшою інтенсивністю і стабільністю. Таким чином, ці пристрої не змінюють характер зображення, а лише підсилюють його, забезпечуючи більш надійне виявлення.

Експериментальні дані свідчать, що підсилювачі особливо ефективні для малих суден. Для рятувальних шлюпок або невеликих плавзасобів забезпечується стабільне виявлення на дальностях до 7 морських миль, а для навігаційних буїв – збільшення дальності з 2–4 до 6–10 миль залежно від умов. Водночас на малих дистанціях ефект підсилення зменшується через насичення підсилювача, і відмітка наближається за характеристиками до природного відбиття.

На відміну від RTE, рятувальні радіолокаційні відповідачі (SART) призначені не для покращення загальної помітності, а для забезпечення пошуку і виявлення об'єктів у аварійних ситуаціях відповідно до вимог GMDSS. Вони формують не просто підсилений сигнал, а спеціальне радіолокаційне зображення, яке однозначно ідентифікується оператором.

Принцип роботи SART базується на швидкому скануванні частотного діапазону суднових радарів (зазвичай 3 см) з формуванням серії імпульсів. У результаті на екрані з'являється характерний ряд точок, що вказують напрямок на відповідач.

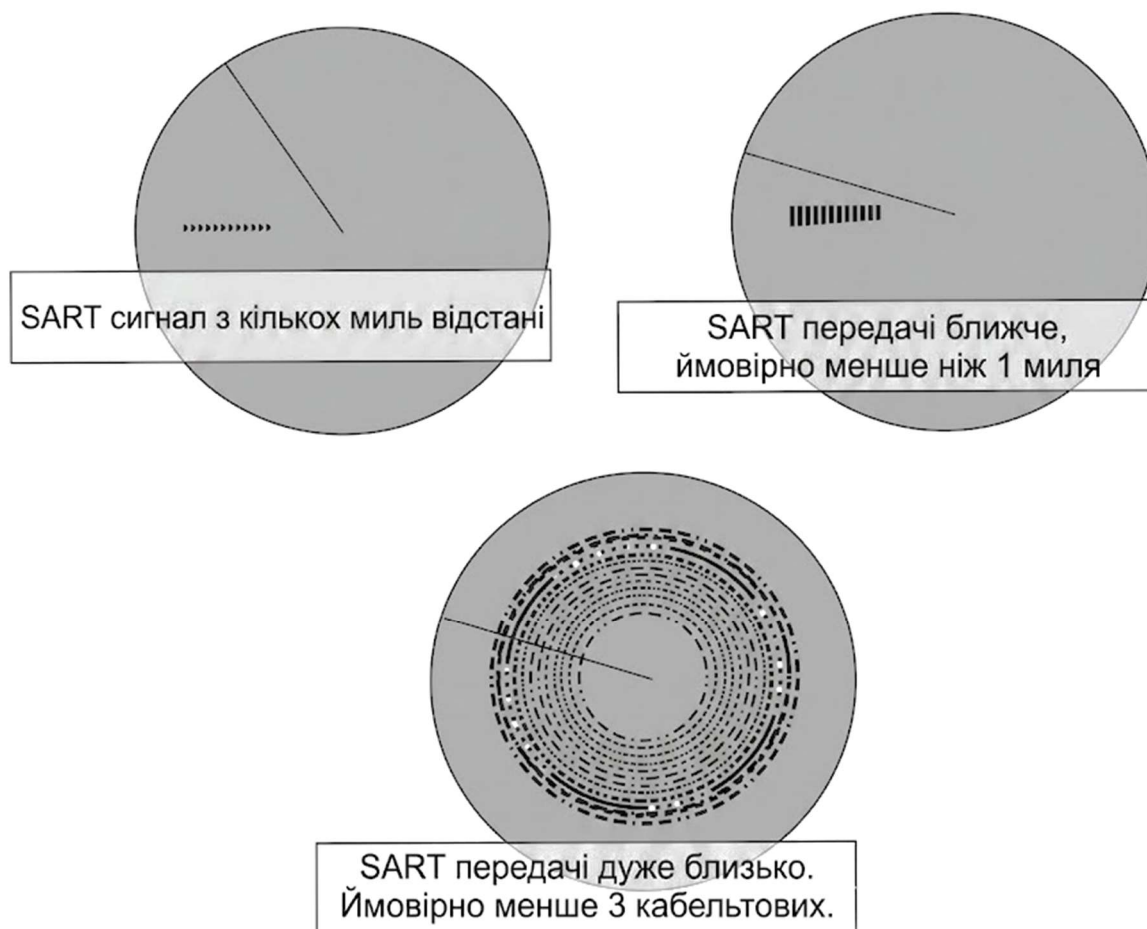


Рисунок 1.43 – Відображення сигналів SART на різних дистанціях

У міру наближення до відповідача точки поступово перетворюються на дуги, які розширюються зі зменшенням дальності, а на малих відстанях формують кільцеве зображення. Через наявність затримки відповіді точне визначення дальності за цими сигналами ускладнене, тому SART використовується передусім для визначення напрямку.

Типовий відповідач має ресурс роботи до 96 годин у режимі очікування та близько 8 годин у режимі передачі. Він повинен забезпечувати виявлення на відстані близько 5 миль при висоті антени 15 м, а при використанні авіаційних радарів – до 30 миль.

Таким чином, принципова різниця між розглянутими пристроями полягає в їх функціональному призначенні: RTE підсилює звичайне радіолокаційне відбиття, роблячи об'єкт більш помітним, тоді як SART формує спеціальний сигнал, призначений для однозначного виявлення і ідентифікації у процесі пошуку і рятування.

Загалом радіолокаційна помітність об'єкта визначається сукупністю факторів, серед яких ключову роль відіграють форма, розміри, матеріал, структура поверхні та орієнтація відносно джерела випромінювання. Використання пасивних і активних засобів дозволяє суттєво підвищити ефективність виявлення об'єктів, які за своїми природними характеристиками мають слабкий радіолокаційний відгук.

Активні пристрої, зокрема RACON, RTE та SART, виконують не лише функцію підсилення сигналу, але й забезпечують ідентифікацію об'єктів і підтримку навігаційної безпеки. Незважаючи на розвиток цифрових навігаційних систем, такі засоби залишаються важливим елементом комплексного забезпечення безпеки мореплавства.

1.5. Узагальнення принципів радіолокаційного спостереження

Розглянуті у цьому розділі принципи роботи суднового радіолокатора формують цілісне уявлення про процес виникнення, відображення та інтерпретації радіолокаційної інформації. Від моменту випромінювання імпульсу до формування зображення на екрані відбувається складна сукупність фізичних і технічних процесів, у яких визначальну роль відіграють параметри сигналу, характеристики апаратури та умови поширення радіохвиль.

Дальність виявлення об'єктів обмежується радіолокаційним горизонтом, який залежить від висоти антени і цілі, однак у реальних умовах суттєво змінюється під впливом атмосферної рефракції. Це означає, що радіолокаційне зображення не є абсолютно стабільним і потребує постійного критичного аналізу.

Формування радіолокаційної відмітки визначається не лише відстанню до об'єкта, але й його відбивними властивостями. Форма, розміри, матеріал, структура поверхні та орієнтація відносно променя безпосередньо впливають на інтенсивність і характер сигналу. У результаті одна й та сама ціль може спостерігатися по-різному залежно від умов, а інколи – залишатися малопомітною.

Суттєві ускладнення виникають унаслідок появи хибних відміток, перешкод та впливу природних явищ. У таких умовах ключовим стає не лише виявлення сигналу, а його правильна інтерпретація. Саме на цьому етапі виникає найбільша кількість помилок, які можуть мати прямі наслідки для безпеки плавання.

Використання пасивних і активних засобів, зокрема радіолокаційних відбивачів, RACON, RTE та SART, дозволяє істотно підвищити ефективність виявлення і ідентифікації об'єктів. Проте навіть за наявності таких засобів радіолокаційне зображення залишається результатом взаємодії багатьох факторів і не може розглядатися як абсолютно достовірне без додаткового аналізу.

У підсумку ефективність використання радіолокатора визначається не лише його технічними характеристиками, але й здатністю судноводія правильно інтерпретувати інформацію, співставляти її з іншими джерелами та враховувати вплив зовнішніх умов.

Разом із тим розглянуті фізичні принципи та закономірності формують лише основу розуміння роботи радіолокатора. Для їх практичного застосування необхідно чітко усвідомлювати, яким чином ці процеси реалізуються у конкретних технічних системах, як формується сигнал на різних етапах його обробки та які налаштування визначають якість отриманого зображення.

Цим питанням присвячено наступний розділ, у якому детально розглядається структура радіолокаційної станції, принципи роботи її основних блоків і особливості формування радіолокаційного сигналу в сучасних системах.

РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В СУДНОВИХ СИСТЕМАХ

У попередньому розділі радіолокаційна система розглядалася з позиції сприйняття та інтерпретації зображення судноводієм. Це дозволило зрозуміти, як формується радіолокаційна обстановка і які фактори впливають на її оцінку. Разом із тим для повного уявлення про можливості та обмеження радара необхідно перейти до іншого рівня – розглянути його як систему формування інформації.

Радіолокаційне зображення не виникає миттєво і не є безпосереднім відображенням навколишнього середовища. Воно формується в результаті послідовного процесу, який включає генерацію електромагнітного імпульсу, його випромінювання, поширення в просторі, відбиття від об'єктів, приймання, обробку та відображення на індикаторі.

На кожному з цих етапів сигнал змінюється, і саме ці зміни визначають, яким буде кінцеве зображення. У результаті одна й та сама навігаційна обстановка може виглядати по-різному залежно від режимів роботи радіолокатора та його налаштувань.

Такий підхід дозволяє розглядати радіолокатор не як окремі технічні вузли, а як єдину інформаційну систему, у якій кожен елемент впливає на достовірність і якість відображення.

У цьому розділі послідовно розглядається процес формування радіолокаційної інформації – від передавального тракту до індикації, включаючи антенно-скануючу систему, приймання та обробку сигналу, а також налаштування, що визначають вигляд зображення на екрані.

2.1. Передавальний тракт радіолокатора

Передавальний тракт є початковою ланкою формування радіолокаційної інформації. Саме на цьому етапі створюється сигнал, який випромінюється в простір і надалі використовується для отримання відомостей про навколишню обстановку.

Формування сигналу починається з його часової організації. Передавальний тракт визначає, коли саме буде випромінений імпульс, якою буде його тривалість, з якою частотою ці імпульси повторюватимуться, а також якою буде їх потужність. Як було показано у розділі 1, ці параметри безпосередньо пов'язані з дальністю виявлення цілей і роздільною здатністю радіолокатора.

Процес формування сигналу відбувається послідовно. Спочатку задається момент випромінювання імпульсу, далі формується його часовий профіль, після чого створюється високочастотне коливання необхідної потужності, яке передається в антенну систему.

Конструктивно передавальний тракт включає три основні елементи:

- пристрій запуску (тригер), який визначає часові параметри випромінювання імпульсів;

- модулятор, що формує імпульс заданої тривалості та енергетичних характеристик;
 - магнетрон, який генерує електромагнітні коливання надвисокої частоти.
- Взаємодія цих елементів показана на рис. 2.1.

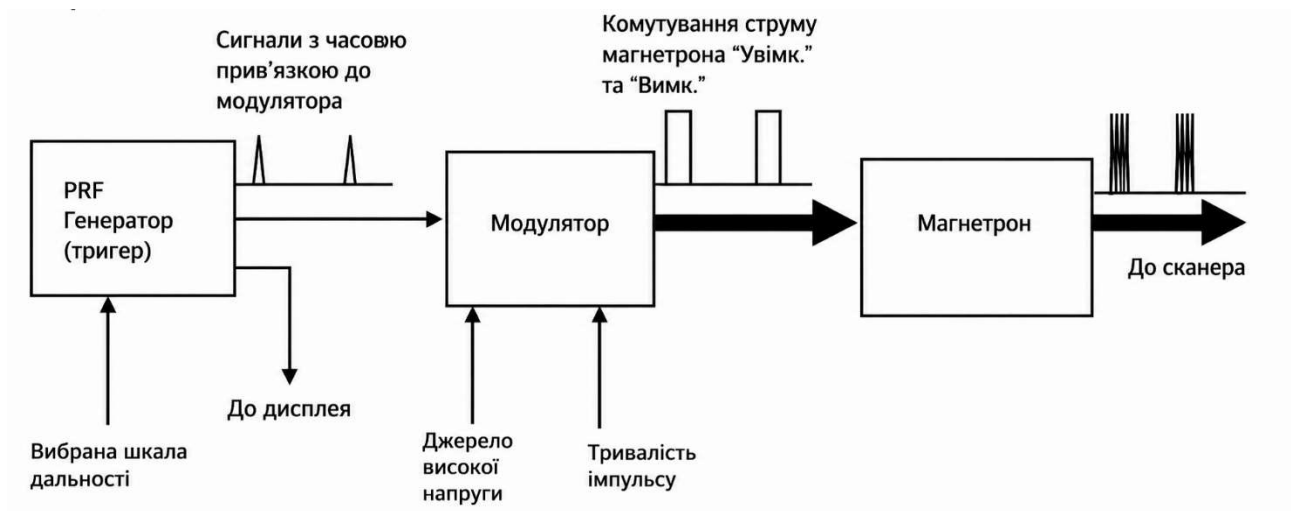


Рисунок 2.1 – Основні компоненти передавального тракту радіолокатора

Сигнали синхронізації, сформовані пристроєм запуску, визначають момент появи кожного імпульсу. У відповідь на цей сигнал модулятор формує високовольтний імпульс необхідної тривалості, який подається на магнетрон. Магнетрон перетворює його у короткий, але потужний радіочастотний сигнал, що передається до антени.

Таким чином, передавальний тракт не просто створює сигнал, а задає його часову структуру, форму і енергетику. Саме ці параметри визначають можливості радіолокатора щодо дальності виявлення, роздільної здатності та надійності отриманої інформації.

2.1.1. Пристрій запуску (Trigger)

Першим елементом передавального тракту є пристрій запуску, або генератор частоти повторення імпульсів (PRF – Pulse Repetition Frequency). Саме він визначає момент виникнення кожного переданого імпульсу і, таким чином, задає часову структуру роботи радіолокатора.

Фактично цей вузол формує “ритм” системи: з якою частотою радар випромінює імпульси і як часто оновлюється радіолокаційна інформація. Як було показано у розділі 1, частота повторення імпульсів безпосередньо пов’язана з максимальною дальністю виявлення та інтервалом між прийомами сигналів. Тому вона змінюється залежно від обраного масштабу огляду: для малих дистанцій використовується вища частота, для великих – нижча.

Сигнал запуску виконує кілька взаємопов’язаних функцій. Він ініціює роботу модулятора, запускаючи процес формування потужного імпульсу, і одночасно задає початок відліку часу для приймача. Саме від цього моменту вимірюється затримка повернення ехосигналу, що лежить в основі визначення дальності до цілі.

Крім того, між імпульсами пристрій запуску забезпечує підготовку системи до наступного циклу – зокрема, заряджання елементів модулятора. Таким чином, він координує роботу передавального і приймального трактів, забезпечуючи узгодженість усіх етапів формування радіолокаційної інформації.

2.1.2. Модулятор

Після формування моменту випромінювання у пристрої запуску наступним етапом є створення самого енергетичного імпульсу. Цю функцію виконує модулятор.

Його робота ґрунтується на поєднанні двох процесів: накопичення енергії між імпульсами та її швидкого вивільнення у вигляді короткого імпульсу великої потужності, який подається на магнетрон. Таким чином, модулятор перетворює відносно повільний процес накопичення енергії у дуже швидкий процес її передачі.

Тривалість сформованого імпульсу визначається обраним масштабом дальності. Як було розглянуто у розділі 1, короткі імпульси забезпечують кращу роздільну здатність, тоді як довгі – підвищують дальність виявлення. Саме тому у більшості радіолокаторів передбачено вибір між «коротким» і «довгим» імпульсом.

Формування такого імпульсу потребує дуже швидкої зміни напруги – практично миттєвого переходу від нуля до значень порядку десятків кіловольт. У реальних системах напруга, що подається на магнетрон, може досягати 10–20 кВ.

Основним елементом модулятора є мережа формування імпульсу (Pulse Forming Network, PFN). Вона накопичує електричну енергію в інтервалі між імпульсами і розряджається при надходженні сигналу запуску. Розряд керується швидкодіючим ключем, який утримує енергію до моменту активації і забезпечує її різке вивільнення.

PFN складається з комбінації ємнісних та індуктивних елементів, що дозволяє сформувати імпульс, близький за формою до прямокутного. Це має принципове значення для радіолокації. На відміну від звичайного розряду конденсатора, при якому напруга змінюється поступово, у радарі необхідно забезпечити швидке зростання сигналу, його стабільність протягом заданого інтервалу і таке ж швидке спадання.

Тривалість імпульсу визначається конфігурацією мережі PFN – зокрема кількістю та параметрами її елементів. Таким чином, параметр «pulse length» реалізується безпосередньо на рівні схеми модулятора.

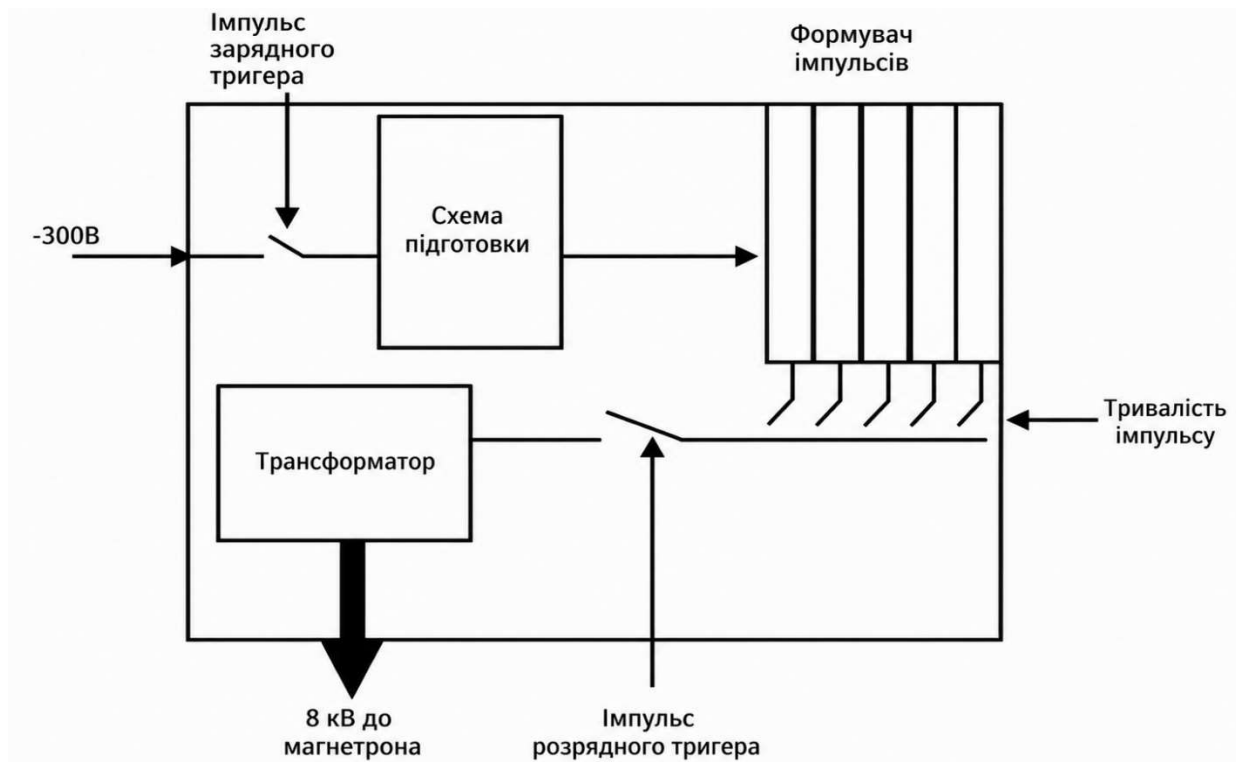


Рисунок 2.2 – Структурна схема модулятора

2.1.3. Магнетрон

Після формування імпульсу необхідної тривалості наступним етапом є перетворення цього імпульсу у радіочастотне випромінювання. Цю функцію виконує магнетрон – центральний елемент передавача суднового радіолокатора.

Магнетрон є генератором електромагнітних коливань надвисокої частоти, які згодом передаються до антени. Саме на цьому етапі формується радіолокаційний сигнал у тому вигляді, в якому він випромінюється в простір.

Конструктивно магнетрон являє собою багаторезонаторний пристрій, що складається з анодного блока з резонансними порожнинами та центрального катода, розміщених у магнітному полі. Типово використовується кілька (зазвичай вісім) резонансних порожнин, у яких формуються електромагнітні коливання.

Робота магнетрона базується на взаємодії електричного та магнітного полів. Під дією високої напруги електрони рухаються від катода до анода, однак магнітне поле змінює їх траєкторію. У результаті виникає складний рух електронів, який призводить до збудження високочастотних коливань у резонансних порожнинах.

Сформований сигнал відбирається за допомогою зонда і передається у хвилевід, який спрямовує його до антени.

Суднові радіолокатори працюють у стандартизованих діапазонах частот, які визначають довжину хвилі і, як було розглянуто у розділі 1, впливають на характер відбиття та роздільну здатність:

- Х-діапазон – близько 9410 МГц (довжина хвилі ≈ 3 см);
- S-діапазон – близько 3050 МГц (довжина хвилі ≈ 10 см).

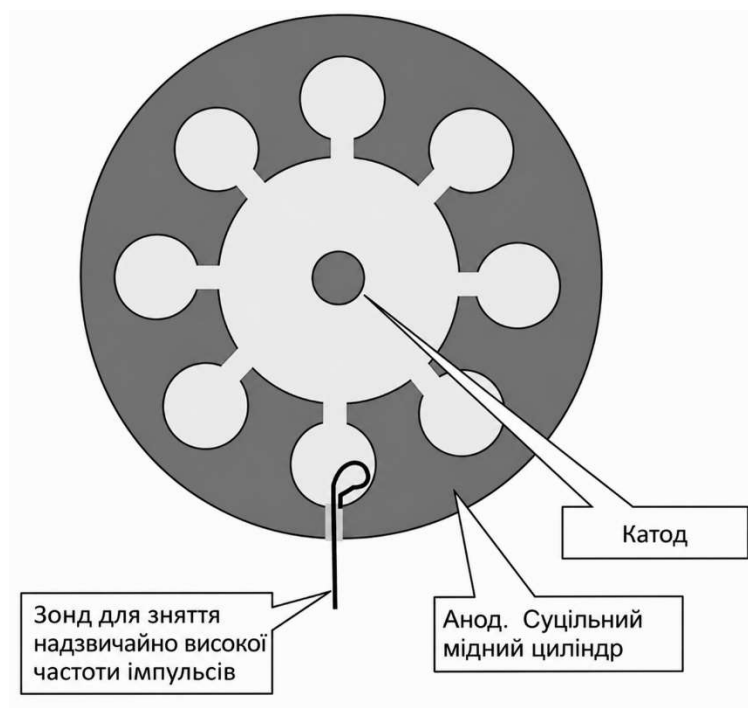


Рисунок 2.3 – Будова магнетрона

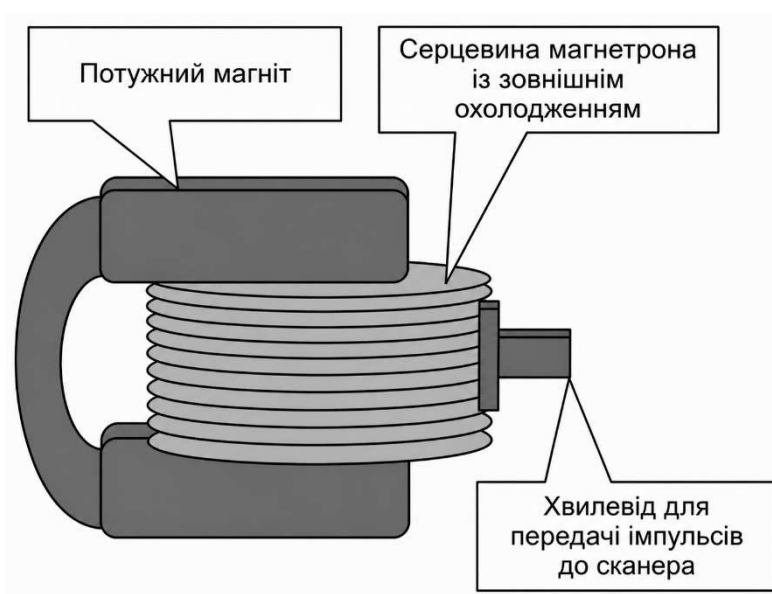


Рисунок 2.4 – Магнетрон суднового радіолокатора

Магнетрони комерційних радарів, як правило, працюють на фіксованій частоті і не мають можливості перебудови. Водночас через технологічні особливості кожен магнетрон має незначне відхилення частоти, що формує індивідуальні характеристики випромінювання конкретної станції.

З розвитком технологій суттєво зріс ресурс магнетронів – від приблизно 2000 годин до понад 10 000 годин роботи. Одночасно зменшилась пікова потужність передавачів: від десятків кіловат у ранніх системах до значно нижчих

значень у сучасних радіолокаторах, що стало можливим завдяки підвищенню ефективності обробки сигналу.

Значна частина енергії, що підводиться до магнетрона, перетворюється на тепло, тому для забезпечення стабільної роботи застосовуються системи охолодження – як пасивні (ребра), так і з примусовою вентиляцією.

Таким чином, магнетрон виконує ключову роль у формуванні радіолокаційного сигналу, перетворюючи енергію імпульсу у високочастотне випромінювання, від параметрів якого залежить подальший процес виявлення цілей.

2.1.4. Робочий цикл передавача (Duty Cycle)

Робота передавача радіолокатора має імпульсний характер і описується поняттям робочого циклу (duty cycle). Цей параметр відображає, яку частину часу передавач фактично випромінює енергію, а яку – перебуває в режимі підготовки до наступного імпульсу.

Робочий цикл визначається як відношення тривалості імпульсу до періоду його повторення (PRP – Pulse Repetition Period), тобто інтервалу між початком двох послідовних імпульсів.

Як було показано у розділі 1, тривалість імпульсу є дуже малою порівняно з часом між імпульсами. Наприклад, при тривалості імпульсу 0,5 мкс і періоді повторення 1000 мкс передавач випромінює енергію лише протягом незначної частини циклу, а основний час система перебуває в режимі очікування та накопичення енергії.

У цьому випадку робочий цикл становить:

$$\frac{0,5}{1000} = 0,0005 = 0,05\%$$

Це означає, що магнетрон перебуває в активному стані лише 0,05% часу, тоді як решта часу використовується для підготовки наступного імпульсу, зокрема накопичення енергії в модуляторі (PFN).

Такий режим роботи є принциповим для радіолокації. Він дозволяє формувати імпульси великої потужності без перевантаження енергетичної системи та забезпечує можливість приймання слабких відбитих сигналів у паузах між випромінюваннями.

2.1.5. Пікова та середня потужність

Пікова потужність (Peak Power), яка зазвичай наводиться в технічних характеристиках радіолокатора, не є безперервною потужністю сигналу. Вона відповідає максимальному значенню потужності під час короткого імпульсу випромінювання.

У реальних умовах роботи значно важливішою є середня потужність, яка визначає енергоспоживання та теплове навантаження системи. Вона безпосередньо пов'язана з робочим циклом передавача.

Середня потужність визначається співвідношенням:

$$P_{\text{avg}} = \text{Duty Cycle} \cdot P_{\text{peak}}$$

Наприклад, при тривалості імпульсу 0,5 мкс і періоді повторення 1000 мкс робочий цикл становить:

$$\frac{0,5}{1000} = 0,0005 = 0,05\%$$

Якщо пікова потужність дорівнює 75 кВт, то середня потужність становить:

$$P_{\text{avg}} = 0,0005 \cdot 75 \text{ кВт} = 37,5 \text{ Вт}$$

Таким чином, навіть при дуже високій піковій потужності реальне енергетичне навантаження системи є відносно невеликим.



Рисунок 2.5 – Пікова потужність імпульсу радіолокатора

2.1.6. Вплив параметрів імпульсу на роботу передавача та якість виявлення цілей

Параметри імпульсного режиму роботи радіолокатора безпосередньо визначають як умови роботи передавального тракту, так і якість формованого радіолокаційного зображення. Хоча оператор не задає ці параметри безпосередньо, зміна масштабу дальності автоматично призводить до зміни тривалості імпульсу та частоти їх повторення.

Параметри робочого циклу визначають режим роботи магнетрона та його ресурс. Зі збільшенням дальності огляду тривалість імпульсу зростає, а частота повторення зменшується. Це змінює середню потужність і, відповідно, теплове навантаження на передавач.

Розглянемо типовий приклад для радіолокатора з піковою потужністю 25 кВт. На малих дальностях використовується короткий імпульс (близько 0,06 мкс) і висока частота повторення (близько 3600 імпульсів за секунду). У цьому випадку період повторення становить приблизно 278 мкс, а середня потужність – близько 5,4 Вт.

Для середніх дальностей тривалість імпульсу збільшується до приблизно 0,5 мкс, а частота повторення зменшується до 1800 імпульсів за секунду. Період повторення зростає до близько 556 мкс, а середня потужність – до приблизно 22,5 Вт.

На великих дальностях тривалість імпульсу досягає близько 1,0 мкс, а частота повторення ще зменшується. Це призводить до подальшого зростання середньої потужності, однак вона залишається в допустимих межах. Таким чином, навіть при зміні режимів роботи система не перевантажується, що забезпечує стабільну роботу магнетрона.

Разом із тим ці ж параметри безпосередньо впливають на можливість виявлення цілей і характер радіолокаційного зображення.

Зі збільшенням тривалості імпульсу зростає енергія випромінювання, а отже підвищується ймовірність виявлення слабких або віддалених об'єктів. Водночас це призводить до погіршення роздільної здатності за дальністю, оскільки відбиття від близько розташованих цілей можуть накладатися.

Короткі імпульси, навпаки, забезпечують чітке розділення цілей, але містять менше енергії, що ускладнює виявлення слабких сигналів.

Частота повторення імпульсів також відіграє важливу роль. Високі значення PRF підвищують стабільність відображення, оскільки простір “опитується” частіше. Проте це обмежує максимальну дальність вимірювання. Зменшення PRF дозволяє приймати сигнали з більшої відстані, але робить зображення менш стабільним у часі.

Таким чином, параметри передавального тракту формують компроміс між дальністю виявлення, роздільною здатністю та стабільністю зображення. У практиці судноводіння це проявляється як зміна якості радіолокаційної картини залежно від обраного масштабу та режиму роботи радіолокатора.

2.2. Антенна система (Scanner)

Після формування радіолокаційного сигналу в передавальному тракті наступним етапом є його передача в простір і приймання відбитих сигналів. Ці функції виконує антенна система радіолокатора, яку часто називають scanner, antenna або aerial.

У цьому підрозділі розглядаються конструкція суднових антен, формування радіолокаційного променя, особливості розміщення антени на судні, а також пов'язані з цим хибні відмітки.

Антенна система є ключовим елементом радіолокатора, оскільки саме вона перетворює електромагнітний сигнал у спрямоване випромінювання і забезпечує приймання відбитих сигналів. Іншими словами, якщо передавач формує енергію сигналу, то антена визначає напрямок його поширення і тим самим формує просторову структуру радіолокаційного зображення.

Конструкція антени повинна забезпечувати виконання кількох взаємопов'язаних вимог.

По-перше, вона має ефективно передавати імпульси і приймати слабкі відбиті сигнали без значних втрат. Це визначає загальну чутливість системи.

По-друге, необхідна вузька горизонтальна ширина променя. Саме вона визначає роздільну здатність за пеленгом і точність визначення напрямку на ціль.

По-третє, вертикальна ширина променя повинна бути достатньо великою. Це дозволяє компенсувати хитавицю судна – крен і диферент – і забезпечує стабільне “захоплення” цілей навіть при зміні положення антени в просторі.

По-четверте, антена повинна обертатися з постійною і рівномірною швидкістю. Саме це забезпечує формування коректного і стабільного радіолокаційного зображення, навіть за умов сильного вітру або інтенсивного руху судна.

Положення антени фактично визначає положення радіолокатора як навігаційного сенсора. Усі дальності та пеленги відлічуються саме від цієї точки. У більшості випадків горизонтальне зміщення антени відносно ходової рубки не має суттєвого значення. Однак на великих судах або при виконанні задач високоточної навігації це зміщення може потребувати врахування.

Для цього використовується система узгоджених координат – Consistent Common Reference System (CCRS), а точка, відносно якої виконуються всі навігаційні вимірювання, називається Consistent Common Reference Point (CCRP).

2.2.1. Конструкція антени та радіолокаційний промінь

Форма та конструкція антени безпосередньо визначають характеристики радіолокаційного променя, а отже – точність і роздільну здатність спостереження.

У ранніх суднових радіолокаційних системах широко застосовувалися антени з параболічним відбивачем. Це відносно проста конструкція, у якій кінець хвилеводу передавача/приймача розміщується у фокусі відбивної поверхні.

Геометрія параболі забезпечує формування спрямованого випромінювання: електромагнітна енергія, що виходить із фокусної точки, відбивається від поверхні і перетворюється у вузький горизонтальний промінь. Водночас у вертикальній площині енергія розподіляється ширше, що дозволяє компенсувати хитавицю судна.

У зворотному напрямку відбиті від цілей сигнали, потрапляючи на відбивач, концентруються у фокусі і передаються до приймача. Таким чином, антена виконує одночасно функції передавання і приймання сигналу.

Слід зазначити, що параболічні антени нині практично не використовуються в суднових радіолокаторах, хоча можуть застосовуватися в авіаційних, військових і спеціалізованих системах.

У сучасних морських радіолокаційних станціях найбільш поширеним є інший тип – щілинна хвилеводна антена (end-fed slotted waveguide).

Вона являє собою подовжений металевий хвилевід прямокутного перерізу, в одній зі сторін якого виконано ряд щілин. Ці щілини розташовані під певним кутом і з точно визначеним кроком, що забезпечує формування спрямованого випромінювання.

Радіолокаційний імпульс поширюється всередині хвилеводу і поступово випромінюється назовні через систему щілин. Кожна щілина діє як елемент

випромінювання, а їх сукупність формує вузький горизонтальний промінь із високою спрямованістю.

Саме така конструкція дозволяє отримати малу ширину променя за пеленгом, що безпосередньо впливає на точність визначення напрямку на ціль і здатність розрізняти близько розташовані об'єкти.

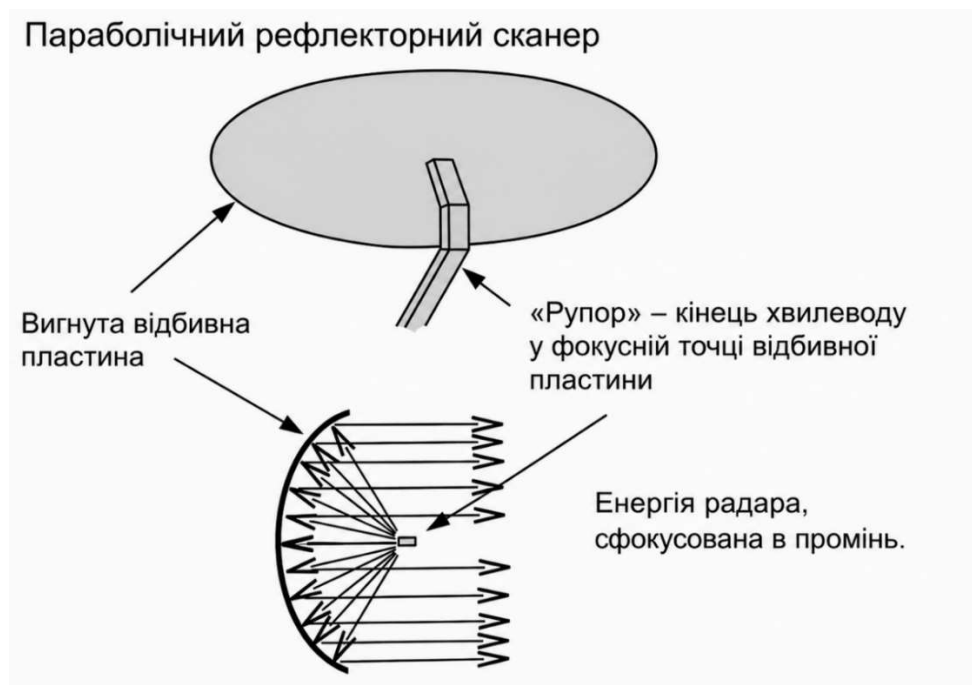


Рисунок 2.6 – Параболічна відбивна антена (parabolic reflector scanner)

2.2.2. Щілинна хвильоводна антена: конструкція та принцип дії

Щілинна хвильоводна антена є основним типом антен, що застосовуються у сучасних суднових радіолокаторах. Її конструкція безпосередньо визначає форму та спрямованість радіолокаційного променя.

Корпус антени (scanner box) фактично є продовженням хвильоводу, по якому електромагнітна енергія надходить від передавача. Усередині цього хвильоводу сигнал поширюється вздовж стінок і поступово випромінюється назовні через систему щілин.

Кожна щілина має довжину приблизно половини довжини хвилі і розташовується на відстані близько половини довжини хвилі одна від одної. Завдяки цьому вони працюють узгоджено за фазою і утворюють лінійний масив випромінювачів.

З фізичної точки зору кожна щілина поводить себе подібно до елементарного диполя. Окремий диполь випромінює енергію майже рівномірно в усіх напрямках і не має вираженої спрямованості. Проте при розміщенні великої кількості таких елементів в одну лінію і їх синфазній роботі відбувається підсумовування хвиль у певних напрямках і взаємне послаблення в інших.

У результаті формується спрямоване випромінювання – головний промінь, перпендикулярний до лінії розташування щілин, а також побічні пелюстки меншої інтенсивності.

Металеві елементи конструкції антени, розташовані позаду хвилеводу, виконують роль відбивача. Вони усувають випромінювання в небажаному напрямку і тим самим підсилюють головний промінь. Одночасно це сприяє формуванню широкої вертикальної діаграми спрямованості, необхідної для компенсації хитавиці судна.

Орієнтація щілин визначає поляризацію випромінювання. Вертикально розташовані щілини формують горизонтально поляризований сигнал. Така поляризація є більш ефективною в морських умовах, оскільки більшість цілей мають більші розміри у горизонтальній площині і краще відбивають саме горизонтально поляризовану енергію.

Таким чином, щілинна хвилеводна антена формує вузький горизонтальний і широкий вертикальний радіолокаційний промінь, що забезпечує одночасно високу точність визначення пеленга і стійкість спостереження в умовах хитавиці.

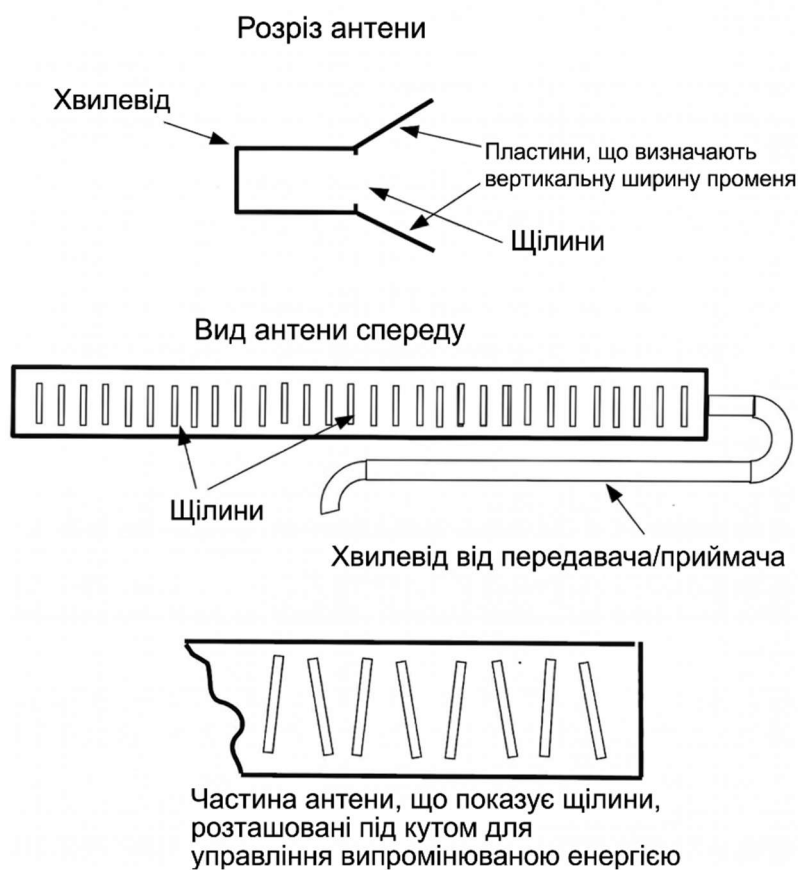


Рисунок 2.7 – Щілинна хвилеводна антена (slotted waveguide antenna)

2.2.3. Регулювання випромінювання в щілинній антені та вплив залишкової енергії

Формування радіолокаційного променя в щілинній хвилеводній антені залежить не лише від розташування щілин, але й від того, як розподіляється енергія вздовж хвилеводу.

Щілини виконуються під різними кутами до осі хвилеводу. Коли електромагнітна енергія поширюється вздовж його стінок, кожна щілина

випромінює частину цієї енергії. При цьому кут нахилу щілини визначає, яка саме частка енергії буде випромінена.

Оскільки енергія підводиться до хвильоводу з одного кінця, її рівень поступово зменшується вздовж довжини антени. Без спеціального регулювання це призвело б до нерівномірного випромінювання: дальні щілини отримували б менше енергії, а ближні – більше.

Для компенсації цього ефекту застосовується кероване розподілення випромінювання. Щілини, розташовані ближче до точки підведення енергії, виконуються з малим кутом нахилу і випромінюють меншу частку енергії. Натомість щілини, розташовані далі, мають більший кут нахилу і випромінюють більше. У результаті досягається приблизно рівномірний розподіл випромінювання по всій довжині антени.

Важливо також забезпечити симетрію діаграми спрямованості. Для цього щілини розташовуються попарно з протилежними кутами нахилу. У кожній такій парі одна щілина компенсує асиметрію іншої, що дозволяє уникнути перекосу променя і забезпечує його стабільну форму.

Окрему проблему становить залишкова енергія, яка не була випромінена через щілини і досягає кінця хвильоводу. Якщо її не врахувати, вона може відбиватися назад і взаємодіяти з основним випромінюванням, викликаючи спотворення діаграми спрямованості.

Для усунення цього ефекту застосовуються спеціальні технічні рішення. Один із підходів полягає у використанні поглинаючого елемента (атенюатора), який перетворює залишкову енергію на тепло. Інший підхід базується на створенні короткого замикання на певній відстані від кінця хвильоводу – приблизно на чверть довжини хвилі від останньої щілини. У цьому випадку відбитий сигнал повертається з такою фазою, що підсилює випромінювання, а не спотворює його.

Таким чином, точне регулювання випромінювання через щілини і контроль залишкової енергії забезпечують формування стабільного, симетричного і ефективного радіолокаційного променя.

2.2.4. Діаграма спрямованості та ширина радіолокаційного променя

Сформований антеною радіолокаційний промінь не має різкої геометричної межі. Основна частина енергії зосереджується вздовж центральної осі, перпендикулярної до антени, а по обидва боки від цієї осі інтенсивність випромінювання поступово зменшується.

Для практичного опису ширини променя використовують точки, у яких потужність зменшується до половини максимального значення. Вони називаються *half power points*. Кут між цими точками визначає ефективну ширину радіолокаційного променя. Саме ця величина безпосередньо впливає на точність визначення пеленга та здатність розрізняти цілі, розташовані близько одна до одної за напрямком.

Окрім головного променя, у діаграмі спрямованості формуються побічні пелюстки. Їхня інтенсивність значно менша, ніж у головного променя, однак у певних умовах вони можуть впливати на радіолокаційне зображення. Особливо

це стосується сильних відбиваючих об'єктів поблизу судна. У таких випадках побічні пелюстки здатні створювати додаткові відмітки по обидва боки від реальної цілі або формувати дугоподібне розширення основного еха.

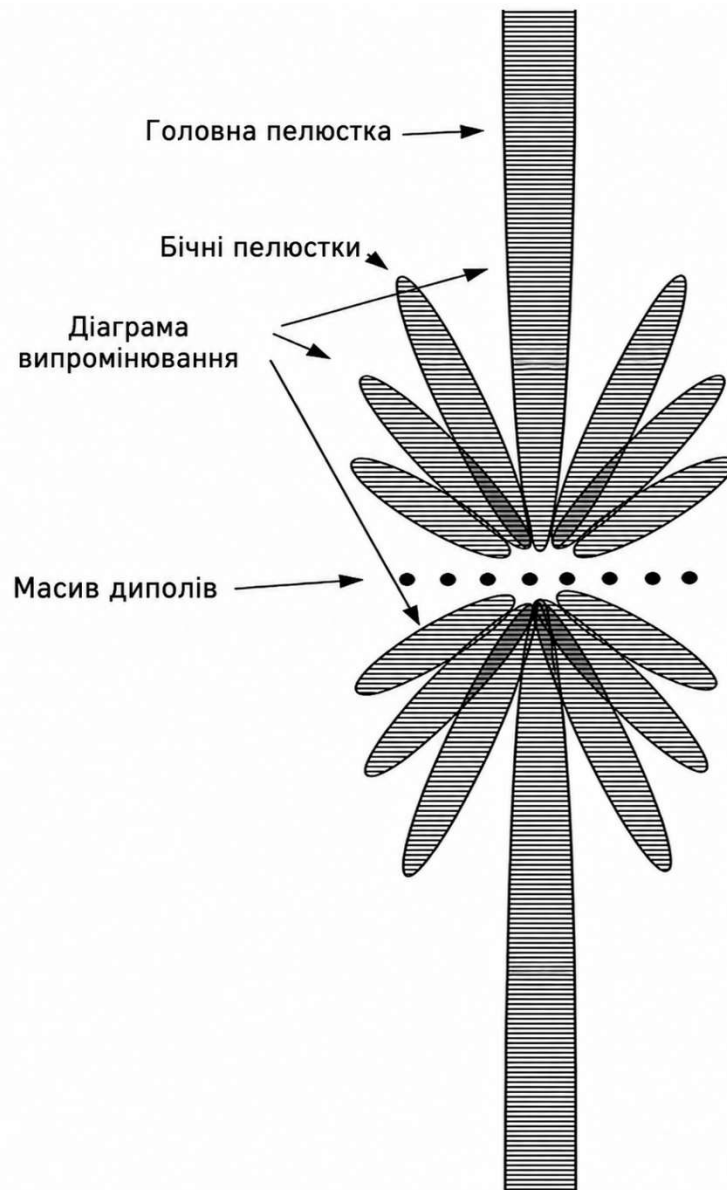


Рисунок 2.8 – Масив диполів і діаграма спрямованості

Ще одним важливим явищем є перекіс променя (*squint*). Він виникає тоді, коли через незначні відхилення робочої частоти або геометричних параметрів щілин головний промінь спрямовується не строго перпендикулярно до антени, а під невеликим кутом. Такий ефект може впливати на точність визначення пеленга, тому під час налаштування радіолокатора він компенсується відповідним зміщенням мітки курсу.

Ширина променя залежить від довжини антени: чим довша антена, тим вузьчим є промінь. Наприклад, антена Х-діапазону довжиною 4 м може забезпечувати ефективну ширину променя близько $0,65^\circ$, тоді як антена довжиною 3 м – близько $0,85^\circ$. Це пояснює, чому розміри антени мають прямий зв'язок із точністю пеленгування.

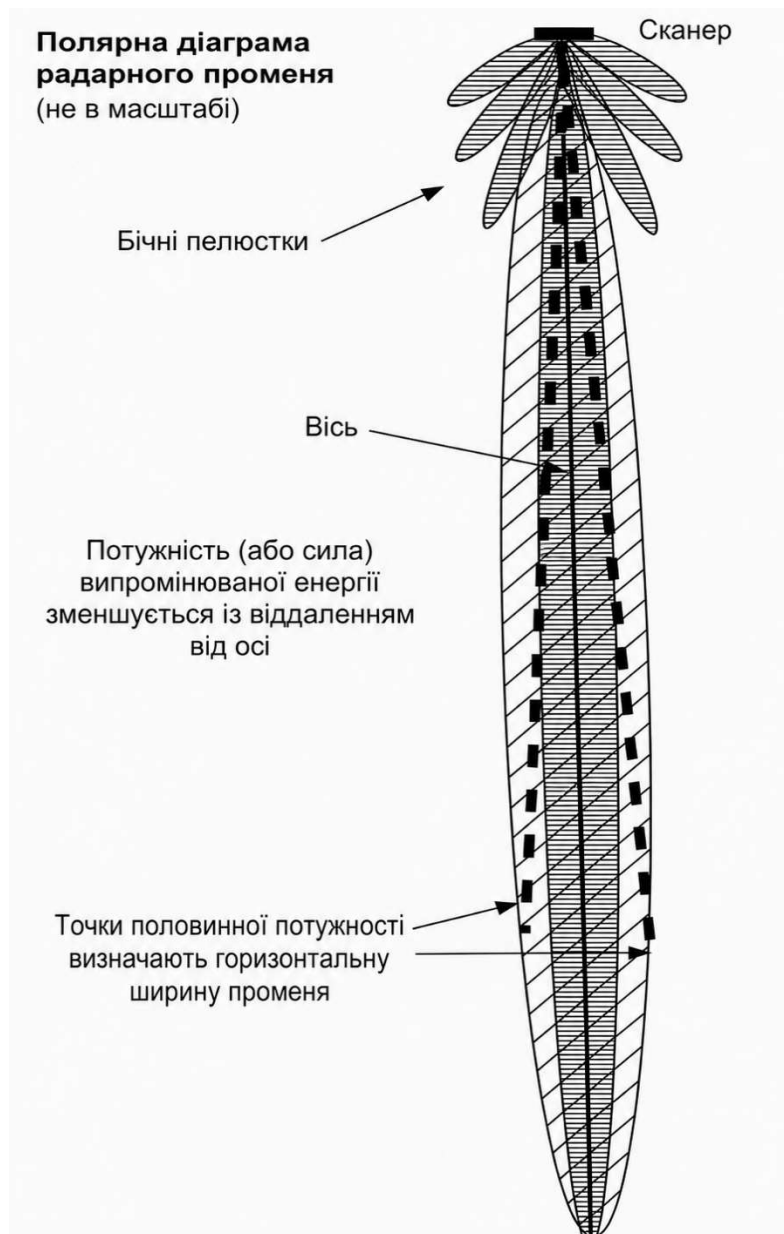


Рисунок 2.9 – Полярна діаграма радіолокаційного променя

Інтенсивність сигналу в межах променя можна порівняти зі світлом прожектора: найбільша енергія зосереджена в центрі, а до країв вона поступово слабшає. Для віддалених цілей межа за рівнем половинної потужності добре описує ефективну ширину променя. Однак для сильних цілей поблизу судна відмітка може виглядати ширшою, оскільки до приймача повертається енергія і з ділянок поза межами основного променя.

2.2.5. Вертикальна структура променя та вплив морської поверхні

У горизонтальній площині радіолокаційний промінь є вузьким, що забезпечує точність визначення пеленга. У вертикальній площині він, навпаки, значно ширший. Така форма необхідна для того, щоб радіолокатор зберігав здатність виявляти цілі під час крену, диференту та хитами судна.

Радіолокаційний промінь можна уявити як широкий вертикальний “віялоподібний” сектор, який обертається навколо судна. Якби антена працювала

у відкритому просторі, вертикальна структура променя мала б відносно рівномірну форму. Однак у морських умовах значну роль відіграє поверхня моря, яка є добрим відбивачем радіолокаційної енергії.

Частина променя, що досягає поверхні моря, відбивається від неї і змінює фазу приблизно на 180° . Після цього відбитий сигнал взаємодіє з прямим випромінюванням антени. У результаті в одних напрямках виникає підсилення сигналу, а в інших – його ослаблення.

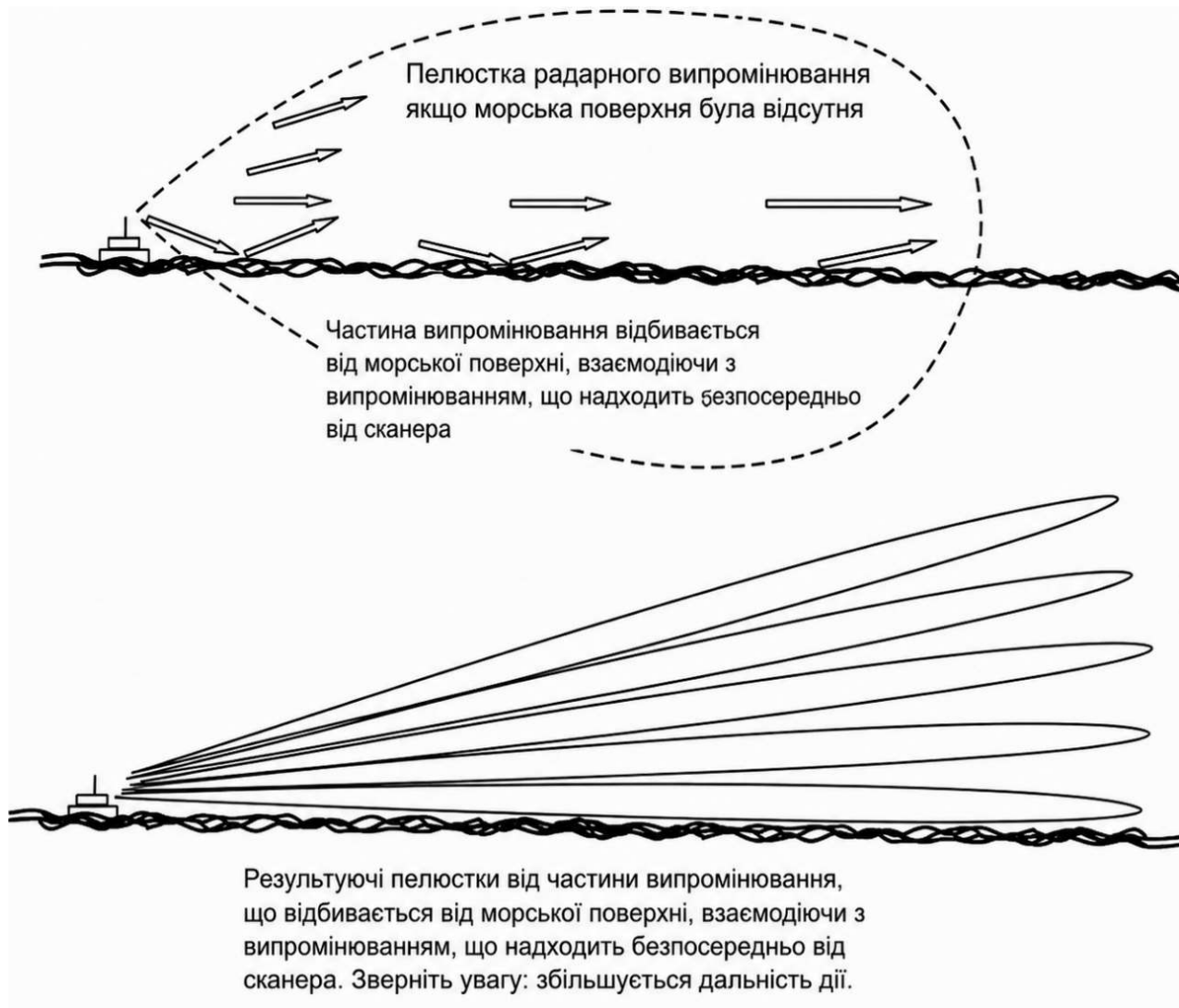


Рисунок 2.10 – Вертикальна структура променя та пелюстки

Зони підсилення формують вертикальні пелюстки (*vertical lobes*). Їхня інтенсивність може перевищувати рівень, який мав би промінь без впливу морської поверхні. Це підвищує ефективну дальність виявлення окремих цілей. Водночас нижня межа променя поступово “піднімається” над поверхнею моря, що може погіршувати виявлення низьких цілей на значних відстанях.

Особливістю цього явища є те, що крен і диферент судна майже не змінюють положення вертикальних пелюсток, оскільки їхня структура визначається взаємодією прямої та відбитої від моря хвилі.

Ще одним наслідком відбивальних властивостей морської поверхні є утворення зон Френеля (*Fresnel zones*). Вони виникають унаслідок взаємодії прямого сигналу з сигналом, відбитим від поверхні моря. Через фазовий зсув можуть формуватися області зниженого рівня енергії поблизу поверхні.

На індикаторі такі зони можуть проявлятися як концентричні кільця навколо судна. Зазвичай вони мають висоту близько 1–2 м над поверхнею моря, розташовуються приблизно через 2 морські милі, а їхня ширина може становити близько одного кабельтова.

У звичайній навігації ці явища рідко створюють серйозні труднощі. Проте вони можуть спричиняти тимчасову втрату слабких або малих цілей. Потенційна проблема виникає тоді, коли зона спостереження (*guard zone*) збігається з однією із зон ослаблення. Водночас практично зони контролю зазвичай ширші за зони Френеля, тому ціль у більшості випадків усе ж потрапляє в область виявлення.

2.2.6. Конструктивне компонування антенної системи

Передача енергії від передавача до антени здійснюється через хвилевід – порожнистий металевий канал прямокутного перерізу. Саме він забезпечує спрямоване поширення електромагнітної енергії від передавального тракту до антени і далі – у простір.

У багатьох сучасних суднових радіолокаторах передавач і приймач розміщуються безпосередньо в щоглі під антеною. У цьому ж блоці можуть знаходитися привід обертання антени, перемикач мітки курсу та енкодер положення. Таке компонування дозволяє скоротити довжину хвилеводу і зменшити втрати сигналу.

Це рішення має низку переваг. Коротший хвилевід менш чутливий до механічних пошкоджень, вологи, вібрацій і не потребує великої кількості з'єднань. Крім того, таке компонування дає більшу свободу у виборі місця встановлення антени, наприклад у носовій частині судна або на спеціальній щоглі.

Разом із тим розміщення обладнання високо на щоглі ускладнює технічне обслуговування і ремонт. Доступ до таких блоків може бути обмеженим, особливо за несприятливих погодних умов, що необхідно враховувати під час експлуатації.

Антенна система повинна забезпечувати стабільне обертання навіть за складних умов. Відповідно до вимог ІМО, антена має зберігати робочу швидкість обертання за сильного вітру. Для цього застосовується достатньо потужний електродвигун із точним регулюванням.

Сучасні антени часто мають обтічні кожухи, виготовлені з матеріалів типу Perspex. Такі кожухи зменшують аеродинамічний опір, захищають елементи антени і знижують навантаження на привід.

Більшість суднових радіолокаторів працює зі швидкістю обертання антени приблизно 20–30 обертів за хвилину. Для швидкісних суден ця величина може бути більшою, оскільки стандартна частота оновлення зображення може бути недостатньою для своєчасного аналізу швидкозмінної навігаційної обстановки.

2.2.7. Передача інформації про напрямок антени

Для формування радіолокаційного зображення недостатньо лише прийняти відбитий сигнал. Необхідно також знати, у якому напрямку була спрямована антена в момент його приймання. Відбитий сигнал визначає дальність до цілі, а положення антени – її пеленг.

Першим важливим елементом цієї системи є перемикач мітки курсу (*heading marker switch*). Він подає сигнал на індикатор кожного разу, коли антена проходить напрямом прямо по курсу судна. Завдяки цьому на екрані формується мітка курсу, відносно якої судноводій оцінює напрямки на цілі.

Цей елемент повинен бути точно відрегульований під час встановлення антени. Якщо мітка курсу зміщена, усі пеленги на екрані матимуть систематичну похибку. Після монтажу зазвичай передбачається можливість тонкого налаштування, хоча цей процес може бути складним, особливо якщо антена встановлена не на діаметральній площині судна або зміщена відносно носової частини.

Правильність встановлення мітки курсу може перевірятися за малими цілями, розташованими точно по носу судна. Якщо відмітка такої цілі не збігається з міткою курсу, необхідно враховувати похибку або виконати відповідне налаштування.

Поточне положення антени під час її обертання визначається за допомогою енкодера обертання (*shaft encoder*). Він складається з набору концентричних кілець, поділених на сегменти. Під час обертання антени контакти послідовно замикаються і розмикаються, формуючи двійкову послідовність сигналів – «1» і «0».

Ця послідовність передається до обчислювального блоку і кодує поточне кутове положення антени. Чим більша кількість кілець і сегментів, тим вища точність визначення пеленга. Водночас практично достатньо, щоб точність кодування була трохи вищою за ефективну ширину радіолокаційного променя.

Таким чином, система мітки курсу та енкодер забезпечують перетворення механічного обертання антени на навігаційно значущу інформацію про напрямок цілі.

2.2.8. Розміщення антени на судні та пов'язані спотворення

У більшості випадків судноводій не бере участі у виборі місця встановлення антени радіолокатора. Проте її положення відносно корпусу судна, надбудов і палубних конструкцій має велике значення для якості радіолокаційного спостереження.

Під час проектування судна місце встановлення антени не завжди визначається лише оптимальними умовами радіолокаційного виявлення. Часто враховуються конструктивні, експлуатаційні або навіть естетичні міркування. Наприклад, на фідерних контейнеровозах надбудова може бути розташована в кормовій частині, щоб забезпечити достатню висоту огляду над контейнерами. На пасажирських суднах антени іноді інтегруються в обтічні конструкції щогл відповідно до загального дизайну судна.

Першим важливим фактором є висота встановлення антени. Зі збільшенням висоти зростає радіолокаційний горизонт і, відповідно, дальність виявлення цілей. Однак надмірне збільшення висоти має і негативний бік: зростає рівень відбиттів від морської поверхні (*sea clutter*) для заданих умов. Це може ускладнювати виявлення слабких цілей поблизу судна.

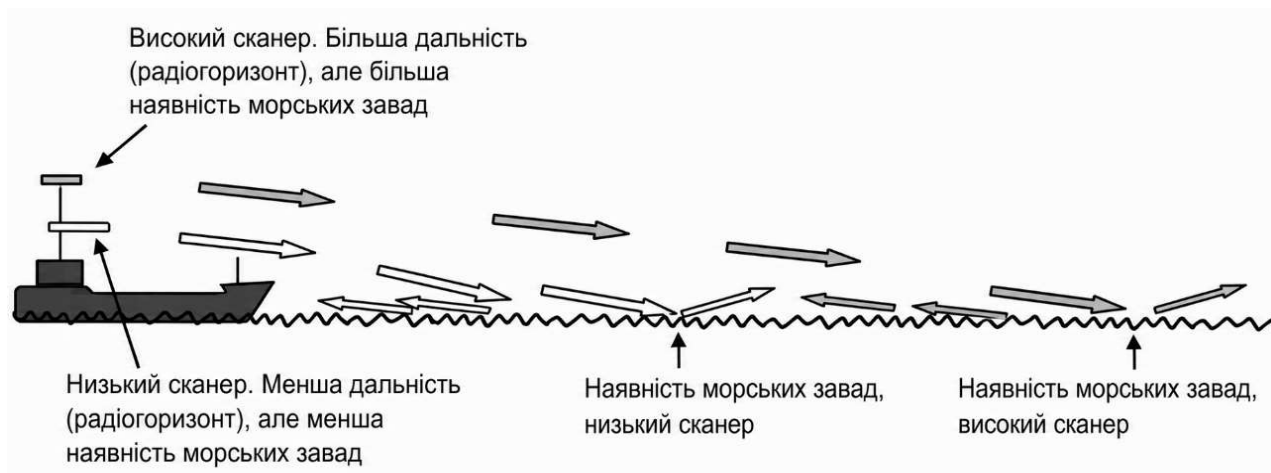


Рисунок 2.11 – Високе та низьке розміщення антени: вплив на дальність виявлення та рівень морських завад

Іншим важливим фактором є наявність конструктивних елементів судна в зоні проходження променя. Щогли, димові труби, крани, контейнери або інші високі елементи можуть частково або повністю перекривати радіолокаційний промінь.

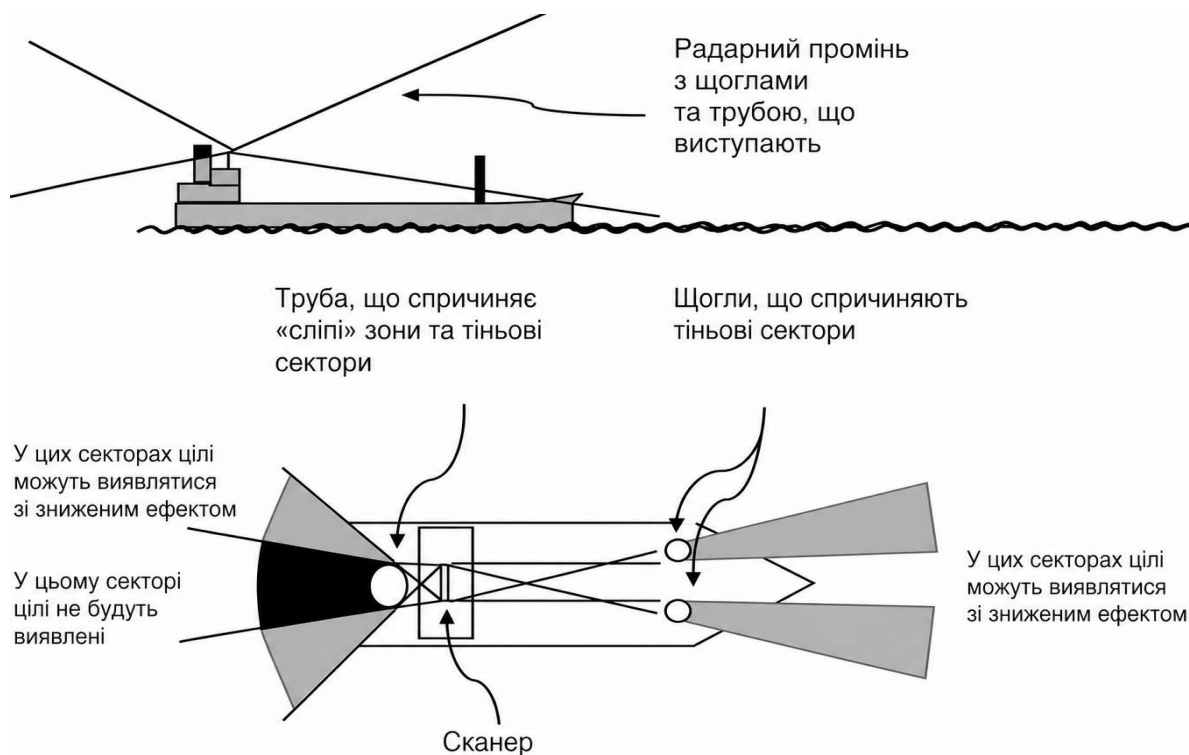


Рисунок 2.12 – Сліпі та тіньові сектори радіолокатора

Якщо перешкода перекриває промінь лише частково, утворюється тіньовий сектор. У ньому сильні цілі можуть виглядати слабшими, а слабкі – зникати зовсім. Якщо така ціль супроводжується автоматично засобами ARPA або АТА, система може втратити її супроводження.

Якщо перешкода перекриває промінь практично повністю, формується сліпий сектор. У такому секторі сигнал не проходить, і цілі не виявляються.

За наявності морських завад тіньові та сліпі сектори часто добре помітні на екрані. Тіньовий сектор проявляється як ділянка зі зниженим рівнем морського фону, а сліпий сектор – як область, де повернення від морської поверхні відсутнє. По обидва боки від сліпого сектора може спостерігатися зона “напівтіні”, у якій ефективність радару зменшується поступово.

Судноводій повинен знати розташування таких секторів на конкретному судні. Якщо вони існують, поблизу індикатора радіолокатора має бути схема з їх позначенням.

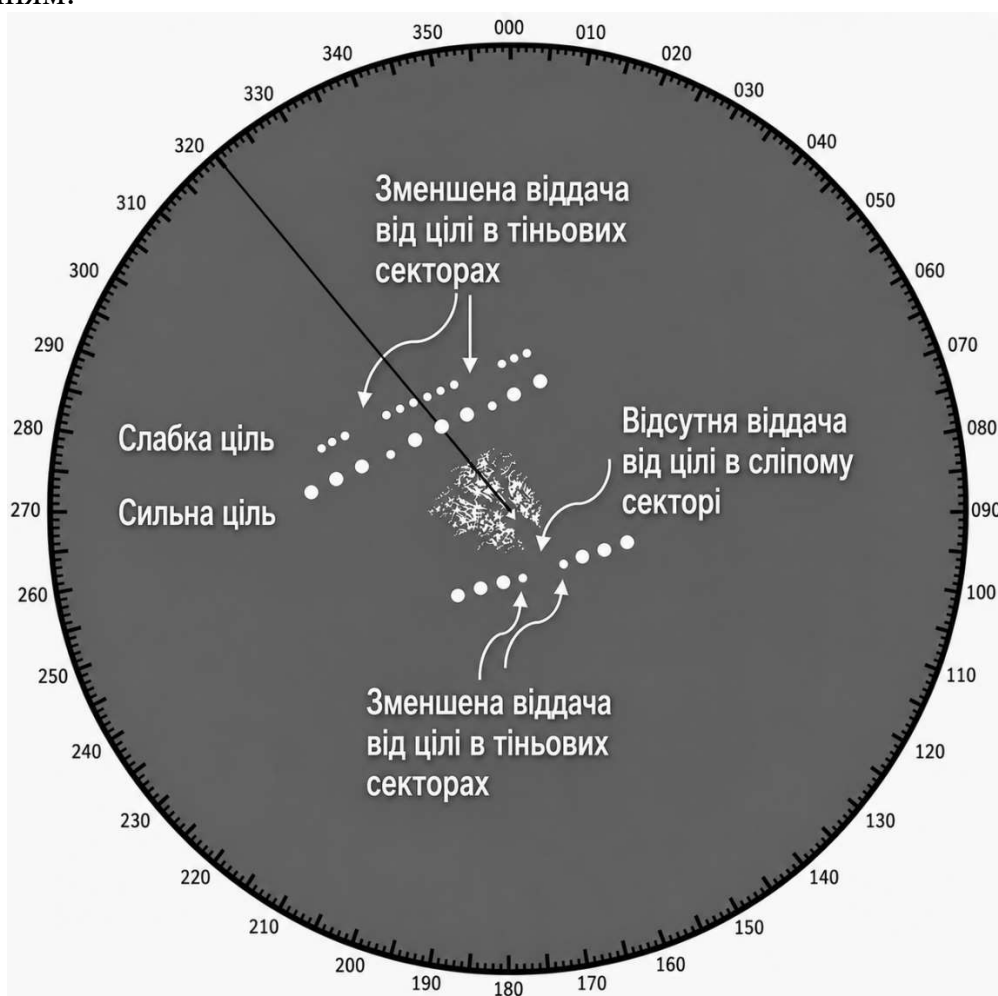


Рисунок 2.13 – Екран радіолокатора з відображенням тіньових секторів у морських завадах і на цілях

Сліпі зони можуть виникати і в носовій частині судна. Їх наявність залежить від форми корпусу, висоти антени та диферента. На великотоннажних суднах сліпа зона перед форштевнем може бути значною, особливо за певного завантаження або положення судна у воді.

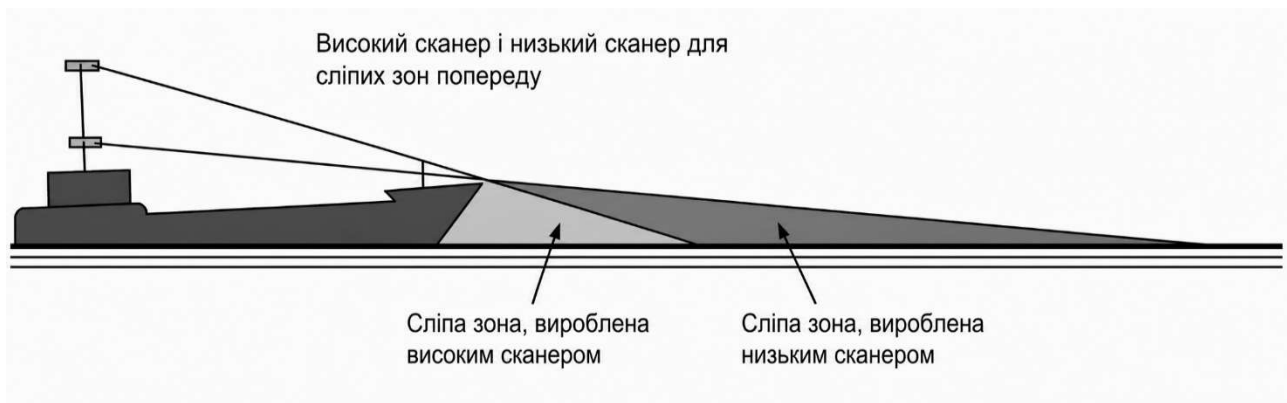


Рисунок 2.14 – Сліпі зони попереду судна залежно від висоти антени

Окрему групу становлять хибні відмітки, пов'язані з розміщенням антени. Вони можуть виникати через побічні пелюстки або непрямі відбиття від конструкцій судна.

Побічні пелюстки мають значно меншу потужність, ніж головний промінь, однак поблизу сильних відбивачів вони можуть створювати додаткові відмітки. На екрані це проявляється як дугоподібне розширення основного еха або серія менших відміток по обидва боки від реальної цілі.

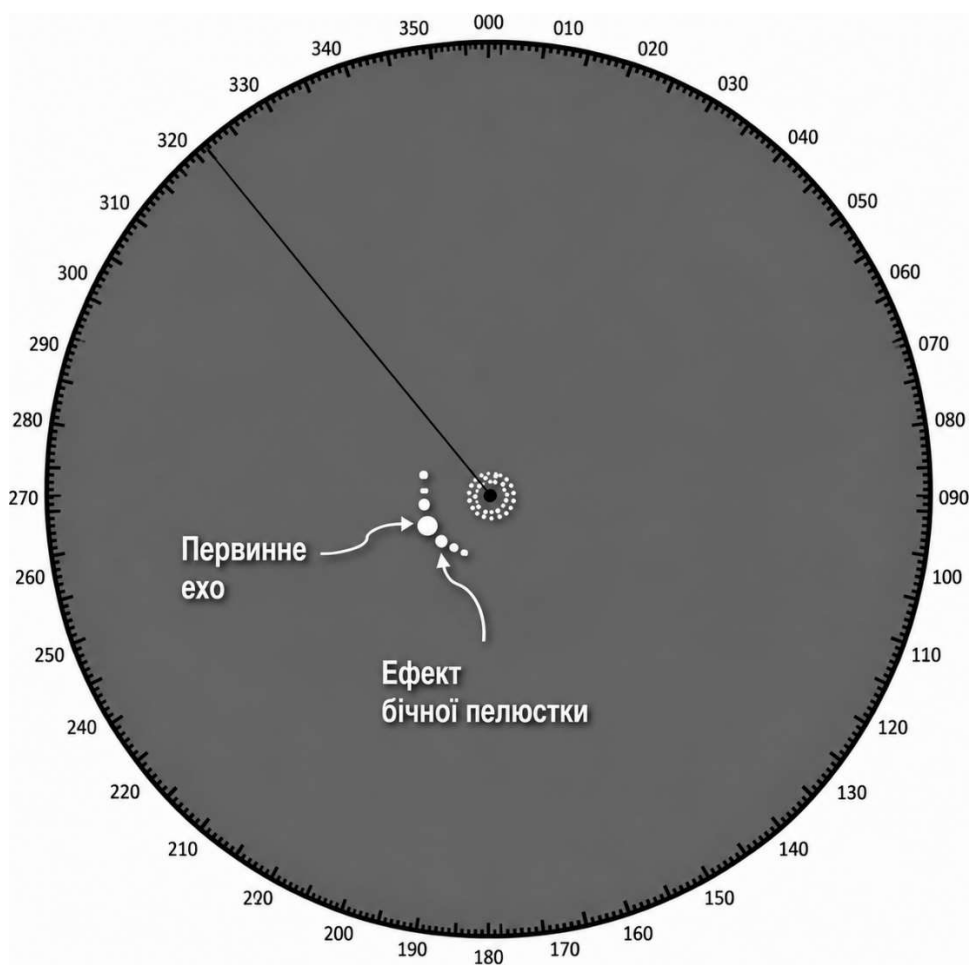


Рисунок 2.15 – Вплив побічних пелюсток на відображення цілей

Більш суттєвим джерелом помилок є непрямі відбиття (indirect echoes). Вони виникають тоді, коли елемент конструкції судна повторно випромінює переданий або відбитий сигнал, фактично виконуючи роль додаткового відбивача. У результаті на екрані можуть з'являтися сильні відмітки в місцях, де реальних цілей немає.

Часто такі відмітки з'являються у сліпих або тіньових секторах, що допомагає їх розпізнати. Водночас непрямі відбиття можуть виникати і від елементів, які самі не створюють сліпих секторів, але знаходяться в межах широкого вертикального променя. Наприклад, кормові поверхні контейнерів на палубі можуть виступати ефективними відбивачами.

Сучасним джерелом подібних ефектів можуть бути офшорні вітрові електростанції. Вони дають сильні відбиття і мають регулярну геометрію, що іноді призводить до появи множинних хибних відміток у різних частинах екрана. У більшості випадків такі сигнали не сприймаються як реальні судна, однак ризик помилкової інтерпретації залишається.

Таким чином, розміщення антени визначає не лише дальність і якість виявлення, але й характер можливих спотворень. Тому судноводій повинен знати особливості встановлення антени на своєму судні, розташування сліпих і тіньових секторів, а також типові хибні відмітки, пов'язані з конструкцією судна.

2.2.9. Перспективні антенно-скануючі системи

Перед завершенням розгляду антенної системи доцільно звернути увагу на перспективні напрями її розвитку. У деяких сучасних радіолокаційних системах, переважно військового призначення, уже застосовується електронне сканування променя без механічного обертання антени.

У таких системах використовується масив нерухомих антенних елементів, розташованих навколо щогли або в межах спеціальної антенної панелі. Напрямок випромінювання змінюється електронно – шляхом керування фазами сигналів у кожному елементі масиву. Такі системи відомі як *phased array*.

Перевагою фазованих антенних решіток є можливість дуже гнучкого керування променем. Система може швидко змінювати напрямок огляду, “затримувати” промінь у потрібному секторі для кращого виявлення слабких цілей, а також працювати без механічних приводів, що зменшує кількість рухомих елементів.

Водночас такі системи потребують високої фазової узгодженості сигналів і складної цифрової обробки. У цивільному судноплавстві вони поки що не набули широкого застосування, зокрема через вартість, складність та необхідність відповідності вимогам типового схвалення ІМО.

Отже, для більшості судових радіолокаторів механічно обертова антена залишається основним практичним рішенням. Проте розвиток електронного сканування показує загальний напрям еволюції радіолокаційних систем – від механічного огляду простору до більш гнучкого цифрового керування променем.

2.3. Приймальний тракт і обробка сигналу

У приймальному тракті радіолокаційної станції формується інформація, яка в подальшому відображається на індикаторі і сприймається судноводієм як радіолокаційна картина обстановки. Якщо передавач генерує потужний імпульс, то приймач працює з сигналами, рівень яких є вкрай малим порівняно з випроміненням.

У цьому сенсі приймач можна розглядати як «очисну» частину системи. Відбиті сигнали повинні бути виявлені, відокремлені від шумів і завад, підсилені та перетворені у форму, придатну для подальшої обробки і відображення.

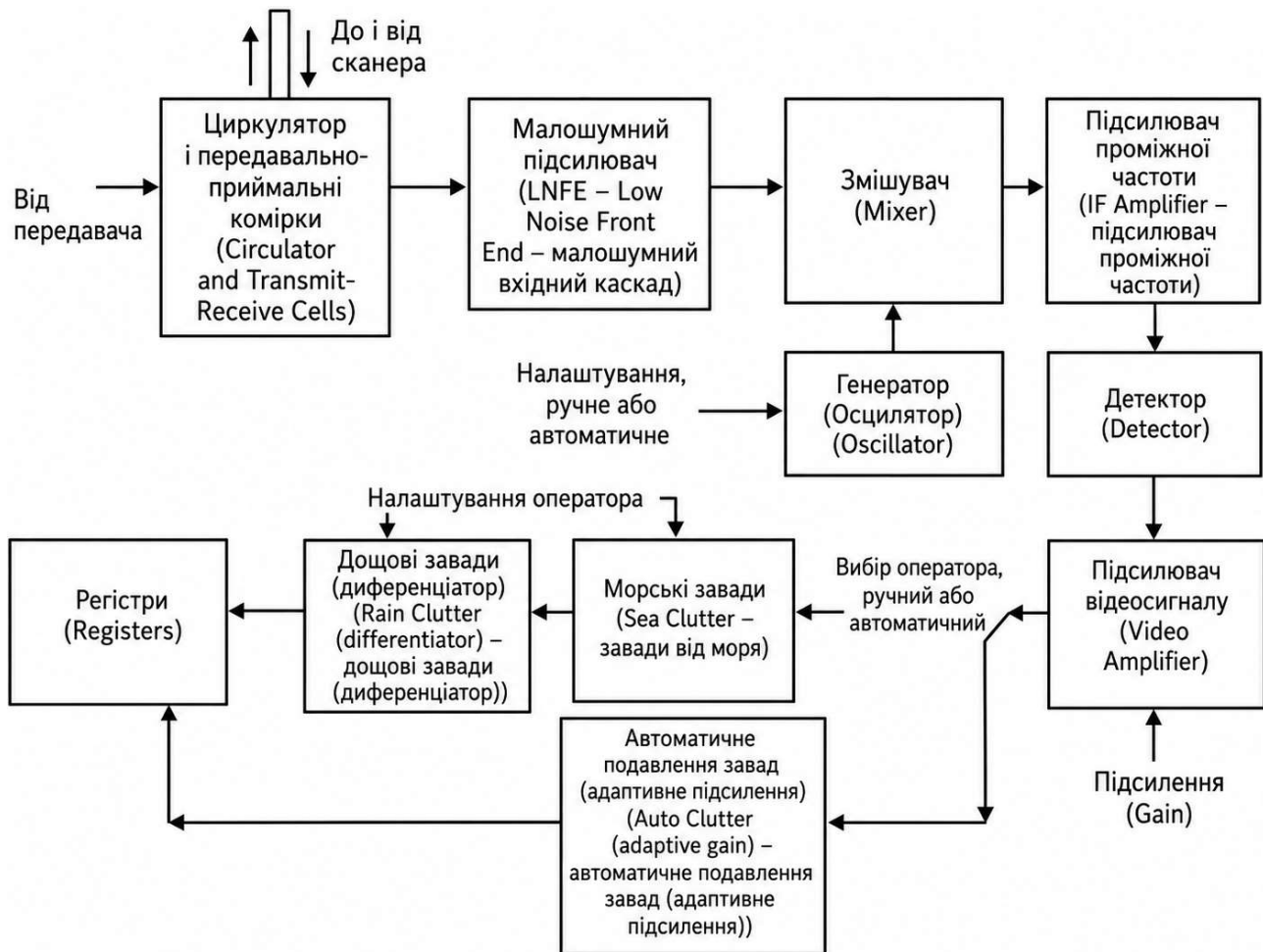


Рисунок 2.16 – Типова структурна схема приймального тракту радіолокаційної станції

Першим елементом приймального тракту, який фактично є спільним для передавача і приймача, є вузол перемикачання між режимами передавання і приймання. Оскільки одна і та сама антена використовується для обох режимів, необхідно забезпечити її швидке переключення, а також захистити приймач від впливу потужного передавального імпульсу.

Цей процес називається дуплексуванням. Пристрій, що виконує перемикачання між двома режимами, називається T–R коміркою (Transmit/Receive cell). Вона повинна діяти дуже швидко, оскільки навіть незначна затримка після

передавання імпульсу може призвести до втрати сигналів від близьких цілей. Частота повторення імпульсів може досягати кількох тисяч разів на секунду, тому механічні пристрої тут непридатні.

У ранніх технічних рішеннях у Т–R комірці використовувався іскровий розряд. У хвилеводі встановлювалися електроди, між якими під час проходження імпульсу виникала іонізація, що блокувала надходження енергії до приймача. Після завершення імпульсу хвилевід знову відкривався для приймання сигналів.

У сучасних радіолокаційних станціях широко застосовується циркулятор як основний елемент дуплексування. Це пристрій, який забезпечує спрямований рух енергії між портами.

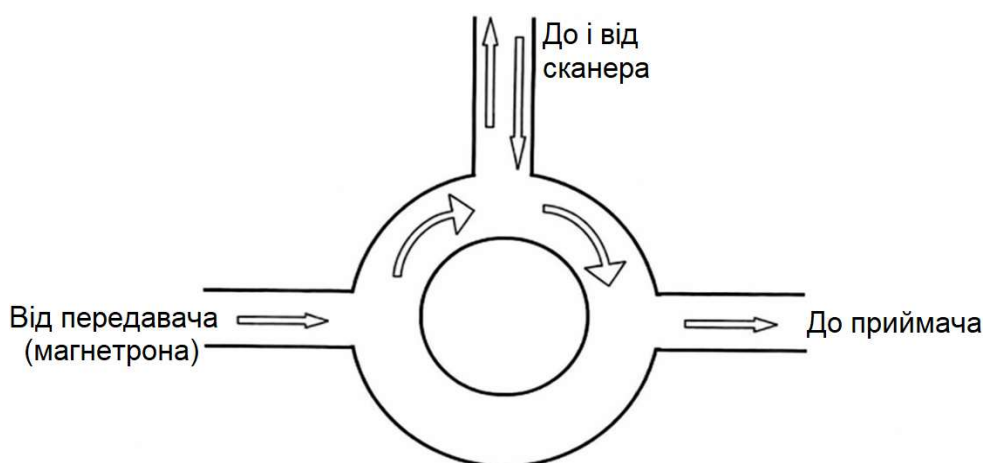


Рисунок 2.17 – Принцип роботи циркулятора у радіолокаційній станції

Імпульс від передавача через циркулятор надходить до антени, а відбиті сигнали спрямовуються до приймача. Разом із цим додаткова Т–R комірка часто використовується для захисту від залишкової енергії.

Після вузла дуплексування сигнал надходить до малошумного підсилювача – LNFE (Low Noise Front End). Його головне завдання полягає не просто у підсиленні сигналу, а у збереженні співвідношення сигнал/шум (SNR).

Під шумом розуміють випадкові перешкоди, подібні до шипіння у радіоприймачах. Якщо рівень сигналу не перевищує рівень шуму, відбиті імпульси можуть бути повністю замасковані. LNFE виконує первинне виділення корисного сигналу, однак не забезпечує повного усунення завад, особливо таких як морські відбиття.

2.3.1. Перетворення частоти та підсилення сигналу

Після попереднього підсилення сигнал надходить до змішувача (mixer), де реалізується супергетеродинне перетворення. Оскільки частота сигналу є дуже високою, він змішується з сигналом локального генератора, у результаті чого формується сигнал проміжної частоти (IF), зручний для подальшої обробки.

Частота локального генератора зазвичай відрізняється від частоти магнетрона приблизно на 60 МГц. Генератор часто реалізується на діоді Ганна і має можливість точного налаштування для компенсації відхилень частоти.

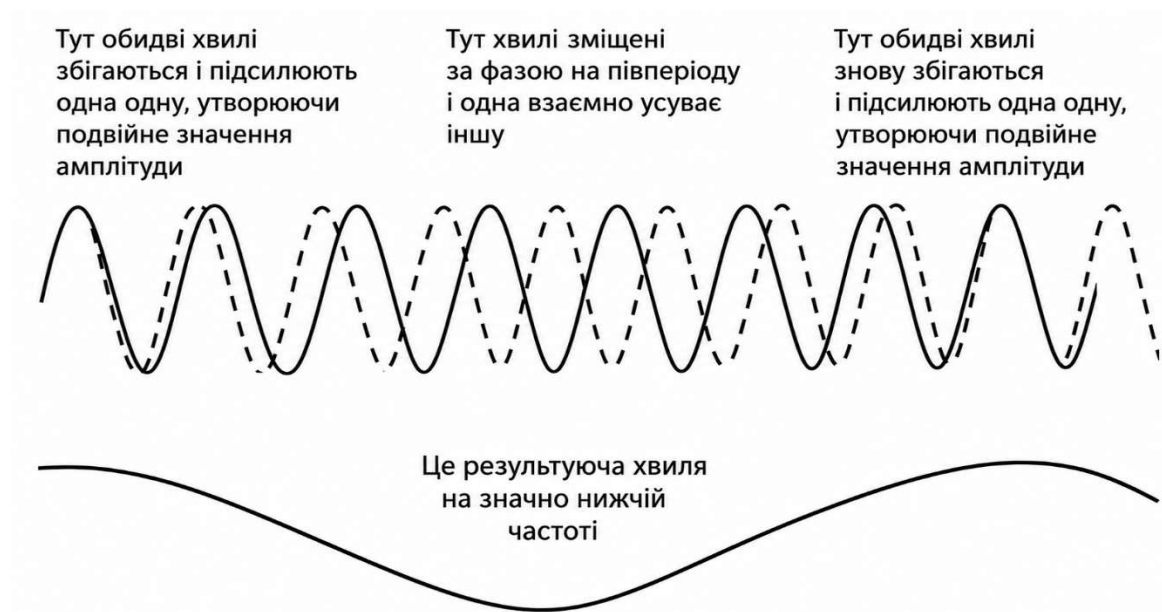


Рисунок 2.18 – Принцип змішування двох частот і утворення сигналу проміжної частоти

У сучасних системах застосовуються збалансовані змішувачі, які дозволяють зменшити вплив шумових компонентів за рахунок їх взаємного компенсування.

Після змішувача сигнал надходить до підсилювача проміжної частоти, який складається з кількох каскадів. Тут застосовуються два типи підсилення.

Лінійне підсилення забезпечує однакове збільшення всіх сигналів, однак сильні сигнали можуть досягати рівня насичення. Логарифмічне підсилення, навпаки, підсилює слабкі сигнали сильніше, ніж потужні, що дозволяє розширити динамічний діапазон.

У сучасних радіолокаційних станціях переважає логарифмічне підсилення, іноді з додатковим лінійним каналом.

2.3.2. Детектування, відеообробка та формування зображення

Після підсилення сигнал надходить до детектора, де відбувається виділення огибаючої імпульсу і перетворення сигналу у відеоформу.

На цьому етапі відбитий сигнал має вигляд підсиленого сигналу проміжної частоти. Детектор перетворює його у напругу, яка відображає як амплітуду, так і тривалість імпульсу. Це означає, що слабкі цілі формують малі значення сигналу, а сильні – значно більші. Водночас важливо, щоб сигнал точно передавав довжину імпульсу, оскільки це безпосередньо впливає на роздільну здатність за дальністю.

Після детектування сигнал надходить до відеопідсилювача, який забезпечує його подальше підсилення до рівня, необхідного для відображення. На цьому етапі реалізуються засоби регулювання, що дозволяють адаптувати радіолокаційне зображення до умов спостереження.

Контроль чутливості за часом (STC) зменшує вплив сильних відбиттів поблизу судна, перш за все морських завад. Пригнічення дощових завад дозволяє

зменшити вплив атмосферних утворень. Ручне та автоматичне регулювання підсилення забезпечують узгодження рівня сигналу з поточними умовами.

Автоматичне регулювання підсилення змінює коефіцієнт підсилення залежно від середнього рівня сигналів, що надходять до приймача. Це дозволяє компенсувати нерівномірність відбиттів у різних ділянках простору навколо судна і підвищує стабільність відображення.

Системи пригнічення завад відіграють важливу роль у формуванні зображення, оскільки дозволяють зменшити вплив сигналів, що виникають унаслідок відбиттів від морської поверхні, опадів або сторонніх об'єктів.

Після відеобробки сигнал надходить до реєстру ехо-сигналів (echo register), де виконується його цифрове представлення. Потік сигналів являє собою змінну напругу, яка синхронізується з тактовими імпульсами системи обробки. Якщо сигнал перевищує заданий поріг у момент тактового імпульсу, у реєстр записується логічна «1», в іншому випадку – «0».

Таким чином формується двійкове представлення ехо-сигналів у вигляді послідовності бітів, що відповідають окремим просторовим коміркам. Це є основою для подальшого формування радіолокаційного зображення.

Реєстр зазвичай має кілька рівнів чутливості. Перший рівень фіксує навіть слабкі сигнали, тоді як наступні – лише сильні. У результаті формується багаторівневе представлення сигналів, яке використовується для відображення на екрані з різною інтенсивністю або кольором.

У сучасних радіолокаційних станціях на цьому етапі також виконуються додаткові процеси – фільтрація небажаних відбиттів і формування ознак інтенсивності сигналу. Якщо в ранніх системах яскравість відмітки безпосередньо відповідала силі сигналу, то сучасні радары забезпечують значно більш інформативне зображення за рахунок багаторівневої індикації.

Таким чином, у межах цього етапу відбувається перехід від аналогового сигналу до його цифрового представлення і формування основи радіолокаційного зображення, яке сприймається судноводієм.

2.4. Обробка радіолокаційних сигналів у умовах завад

Після розгляду принципів формування і первинної обробки радіолокаційного сигналу виникає наступне, не менш важливе питання – яким чином із сукупності відбиттів формується стійке та інформативне зображення, придатне для практичного використання.

Реальні умови судноплавства характеризуються наявністю значної кількості завад, серед яких домінують відбиття від морської поверхні та атмосферних утворень. У таких умовах приймальний тракт сам по собі не забезпечує достатньої якості інформації. Необхідною стає додаткова обробка сигналів, спрямована на відокремлення стійких відбиттів від випадкових і небажаних.

Цю функцію виконують алгоритми кореляційної обробки та системи пригнічення завад. Вони дозволяють не лише «очистити» радіолокаційне зображення, але й сформувати основу для надійного виявлення цілей у складних умовах.

2.4.1. Кореляційна обробка сигналів

Після формування відеосигналу та його первинної обробки виникає наступне завдання – відокремлення стійких ехо-сигналів від випадкових завад. Для цього у сучасних радіолокаційних станціях застосовується кореляційна обробка.

Найпростішим її варіантом є імпульсно-імпульсна кореляція. У цьому методі ехо-сигнали, отримані від одного імпульсу, порівнюються з сигналами наступного. Якщо відбиття не повторюється в одному й тому ж місці протягом кількох послідовних імпульсів, воно розглядається як випадкове і відкидається.

Більш високий рівень обробки реалізується у вигляді кореляції «оберт до оберту» антени. Сигнали, отримані протягом одного повного оберту, запам'ятовуються і порівнюються з сигналами наступного оберту. Якщо сигнал не повторюється у тій самій позиції, він не відображається. Якщо ж він зберігається, відмітка поступово підсилюється – від слабкої до інтенсивної.

У ряді сучасних систем цей процес має ще й візуальне відображення: стабільні цілі поступово змінюють колір – від слабкого (наприклад, коричневого) до яскравого (жовтого), що дозволяє оператору інтуїтивно оцінювати їхню надійність.

Таким чином, кореляційна обробка формує основу «інтелектуального відбору» сигналів, залишаючи лише ті, що мають стабільний характер і відповідають реальним об'єктам.

При цьому для визначення положення цілі необхідно поєднати інформацію про дальність із даними про напрямок антени в момент приймання сигналу. Ця інформація передається від системи обертання антени до обчислювального блоку індикатора і використовується для формування повноцінного радіолокаційного зображення.

2.4.2. Морські та дощові завади: природа і способи пригнічення

Одним із основних джерел завад у радіолокації є морська поверхня. Морські завади виникають унаслідок відбиття сигналу від хвиль, особливо їх схилів, орієнтованих у бік антени.

Інтенсивність таких завад визначається швидкістю вітру, довжиною розгону хвиль, глибиною води та напрямком течій. У штормових умовах хвилі руйнуються, утворюючи піну і бризки, які додатково підсилюють розсіювання радіохвиль.

На індикаторі морські завади проявляються як зона інтенсивних випадкових відміток поблизу власного судна (рис. 2.19). Це може призводити до маскування цілей, особливо на малих відстанях.

Важливо враховувати, що якщо сигнал від цілі не перевищує рівень завад, вона може залишитися невиявленою. Це створює ризик як для візуального спостереження, так і для автоматичних систем супроводу.

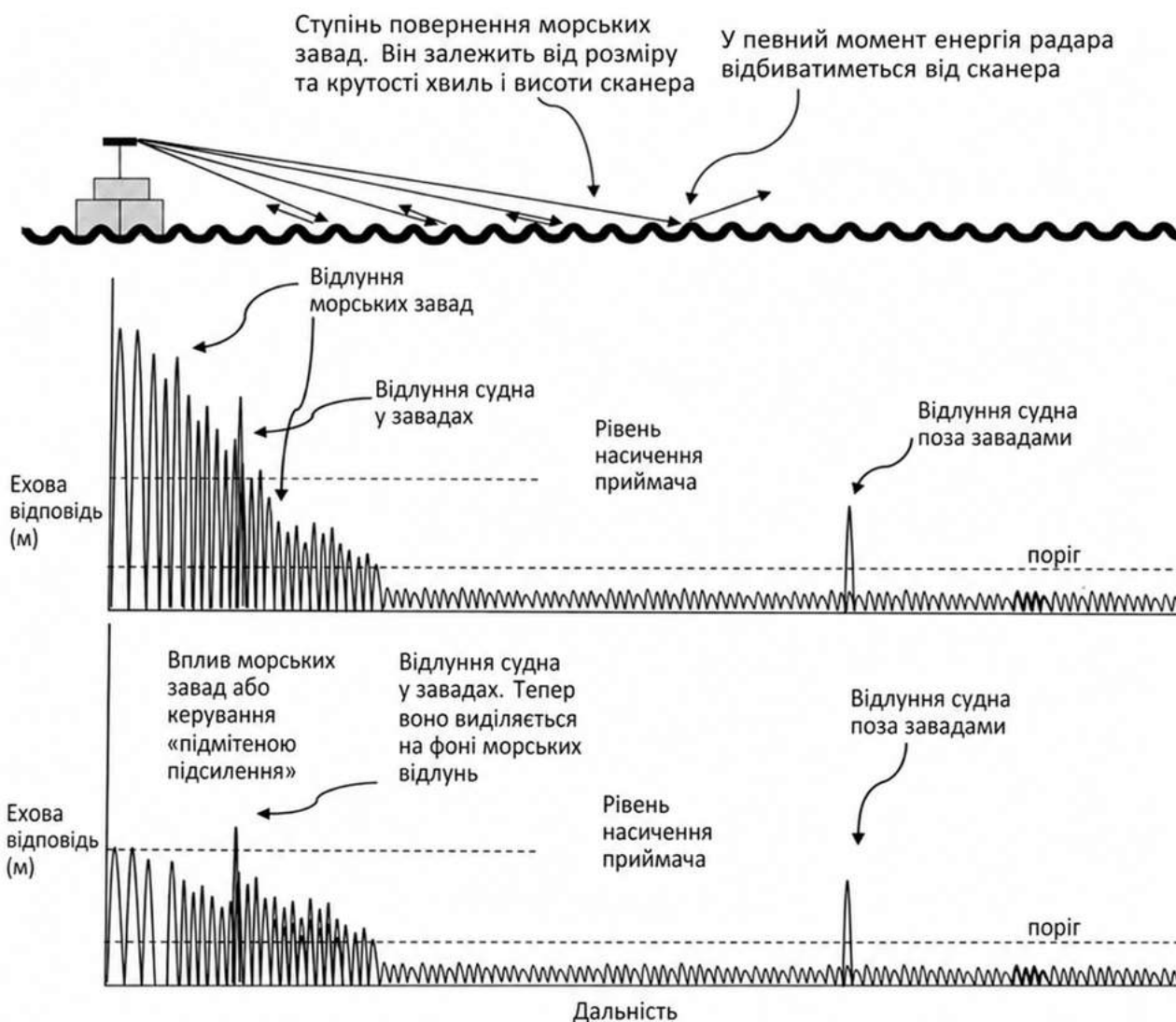


Рисунок 2.19 – Формування морських завад та їх залежність від стану поверхні моря

На рис. 2.20 і 2.21 показано характер відображення морських завад без пригнічення і після його застосування.

Основним способом боротьби з такими завадами є зменшення підсилення сигналу на малих дальностях. Це реалізується за допомогою регулятора «Sea Clutter» або функції STC. Після початкового пригнічення підсилення поступово зростає з віддаленням, що дозволяє зберегти здатність виявлення цілей на більших дистанціях.

Окрім морських завад, значний вплив мають атмосферні явища, які об'єднуються під назвою дощових завад. Вони виникають унаслідок розсіювання радіохвиль на великій кількості крапель води або кристалів льоду.

Кожна крапля діє як окремий розсіювач, що частково відбиває сигнал, а частково розсіює його. При цьому відбувається і ослаблення сигналу при проходженні через зону опадів, що ускладнює виявлення цілей за нею.

Вплив дощових завад значно сильніший у радіолокаторах Х-діапазону, ніж у S-діапазоні, що пояснюється залежністю ефекту розсіювання від довжини хвилі.

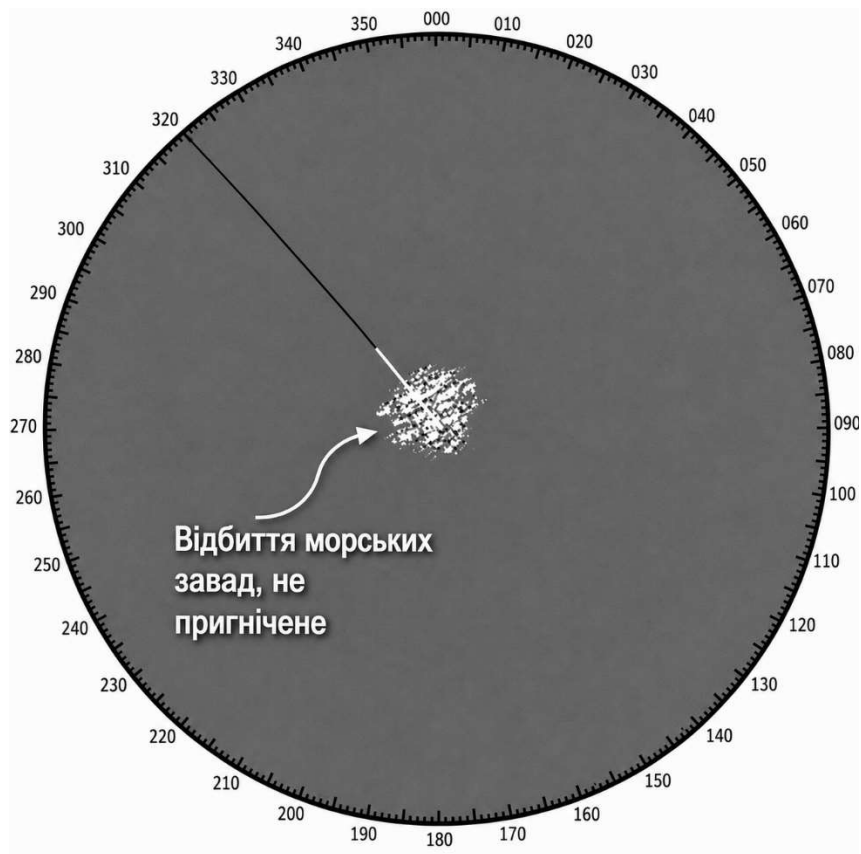


Рисунок 2.20 – Вплив морських завад на відображення цілей (без пригнічення)

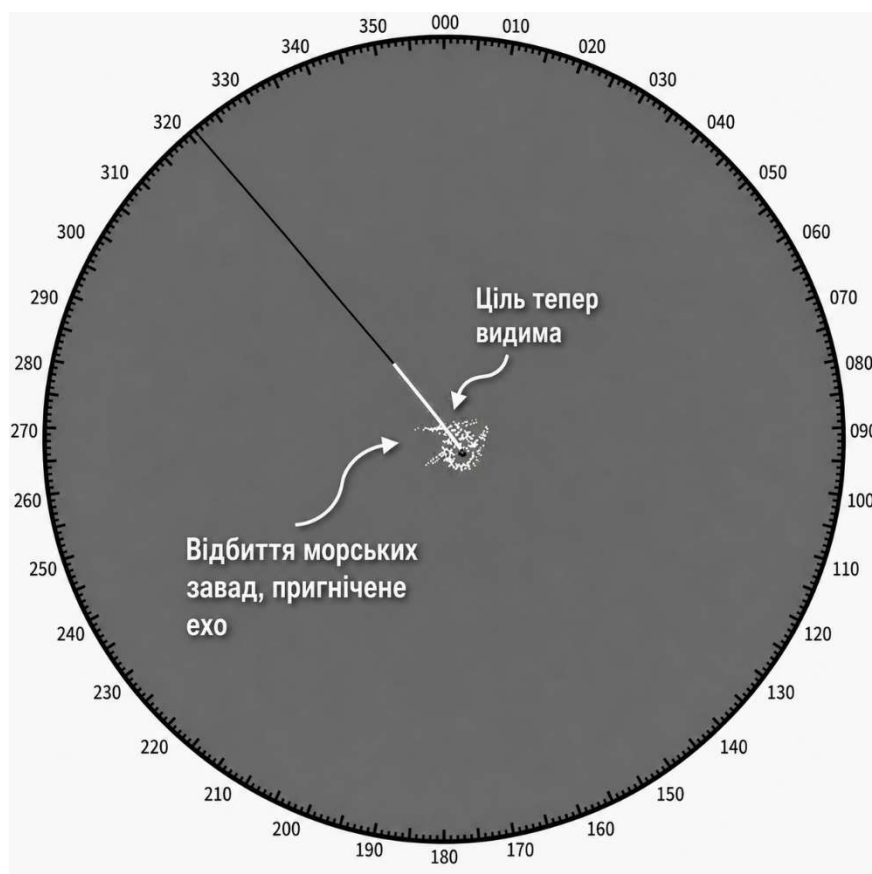


Рисунок 2.21 – Результат застосування пригнічення морських завад

На індикаторі такі завади виглядають як рівномірні інтенсивні області, які можуть перекривати реальні цілі.

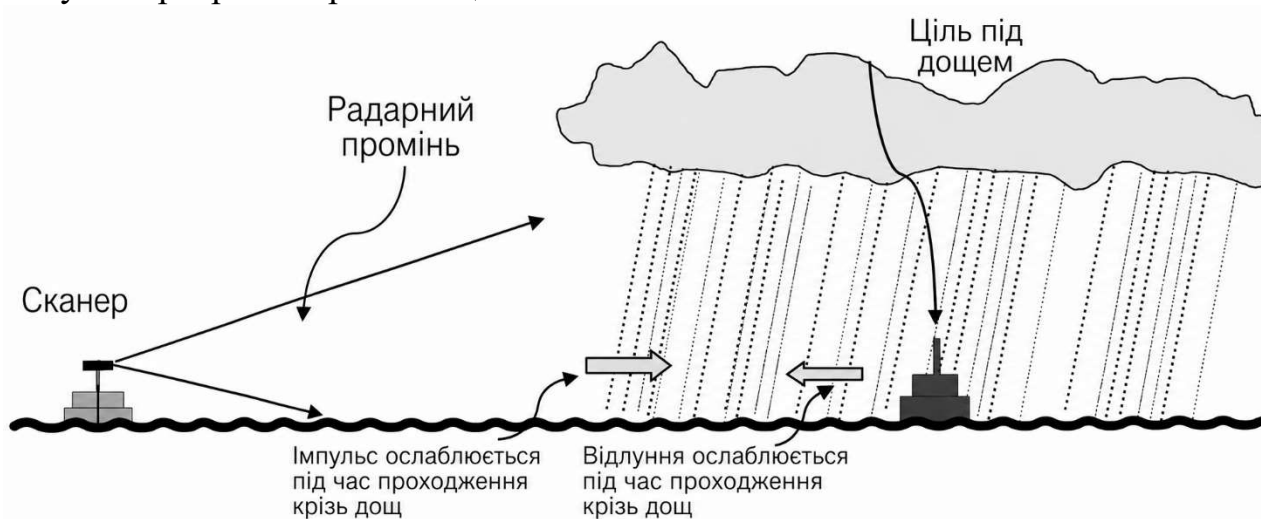


Рисунок 2.22 – Вплив дощу на проходження радіолокаційного імпульсу

Для їх пригнічення використовується обробка типу FTC (Fast Time Constant), яка виділяє передній фронт сигналу і пригнічує протяжні відбиття.

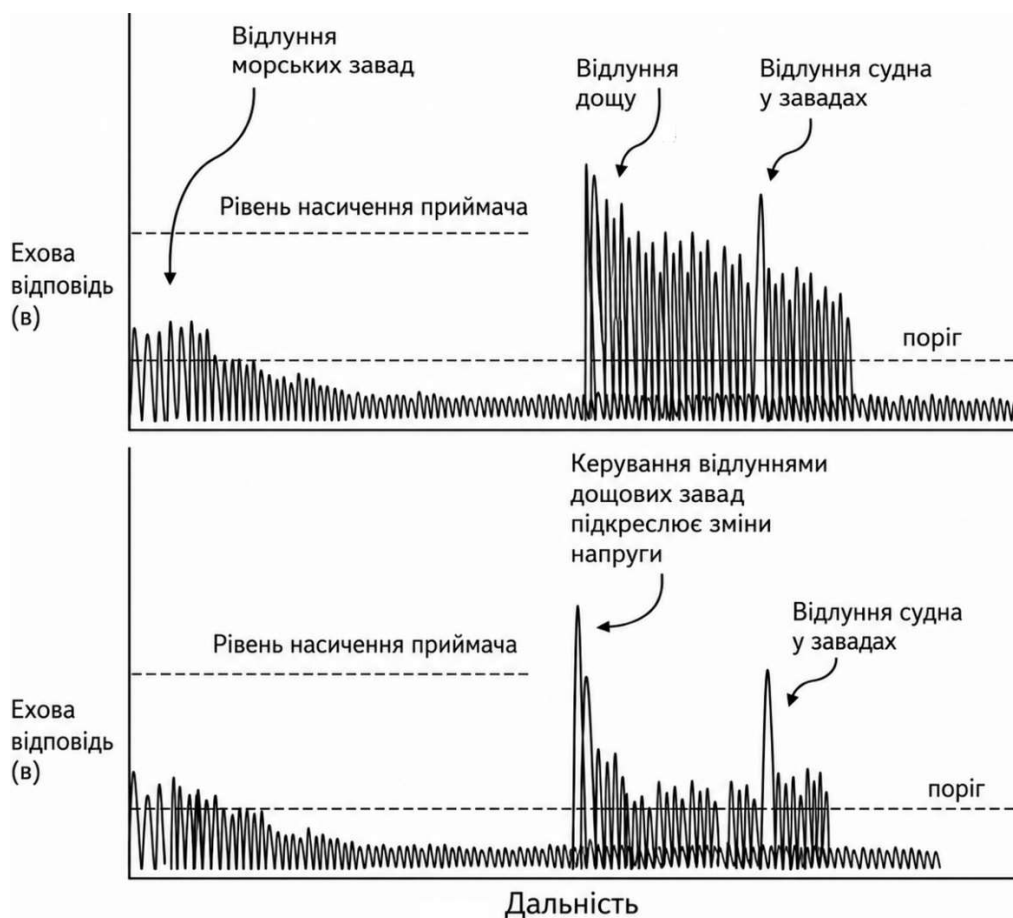


Рисунок 2.23 – Формування та пригнічення дощових завад

На рис. 2.24 показано відображення дощових завад без обробки та після її застосування.

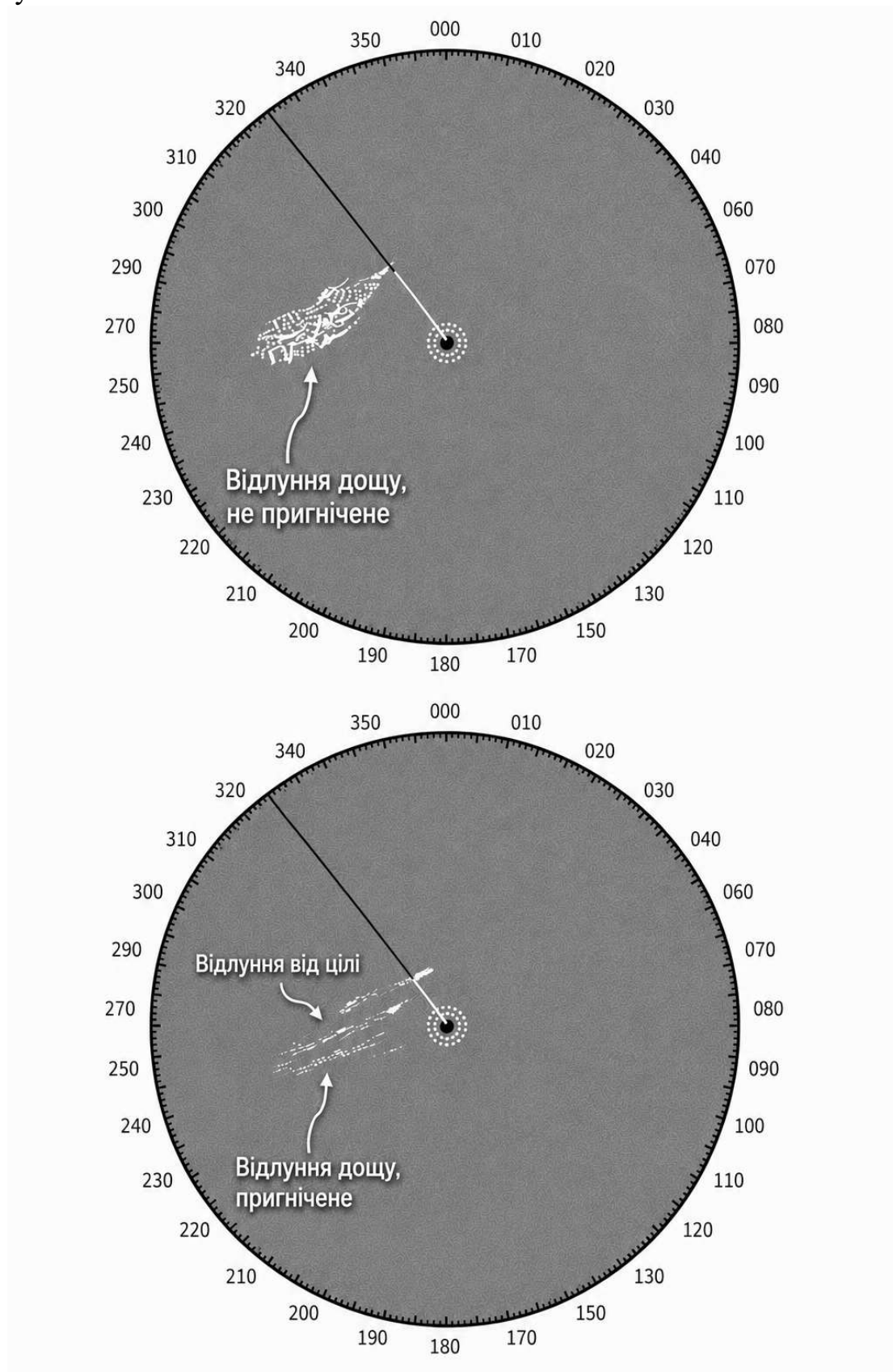


Рисунок 2.24 – Відображення дощових завад без обробки та після її застосування

Водночас слід пам'ятати, що пригнічення дощових завад може призводити до втрати частини інформації про розміри цілі, а також до ослаблення сигналів від об'єктів, що знаходяться за зоною опадів.

2.4.3. Автоматичне пригнічення завад і роль судноводія

У сучасних радіолокаційних станціях широко застосовуються системи автоматичного пригнічення завад, які поєднують кореляційну обробку з адаптивним регулюванням підсилення.

Система аналізує сигнали в різних секторах огляду і автоматично зменшує підсилення там, де рівень завад є підвищеним. Наприклад, з навітряного боку судна морські завади зазвичай сильніші, і система відповідно адаптує параметри обробки.

На рис. 2.25–2.28 показано вплив різних режимів пригнічення завад на радіолокаційне зображення.



Рисунок 2.25 – Зображення без пригнічення завад



Рисунок 2.26 – Часткове пригнічення морських завад

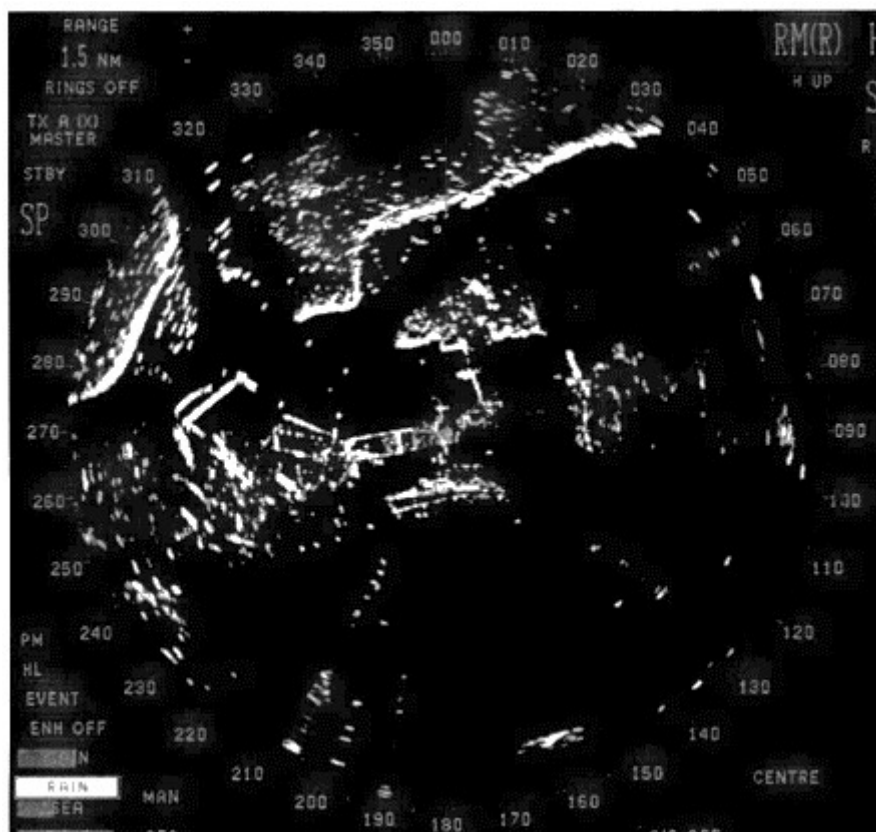


Рисунок 2.27 – Пригнічення дощових і морських завад

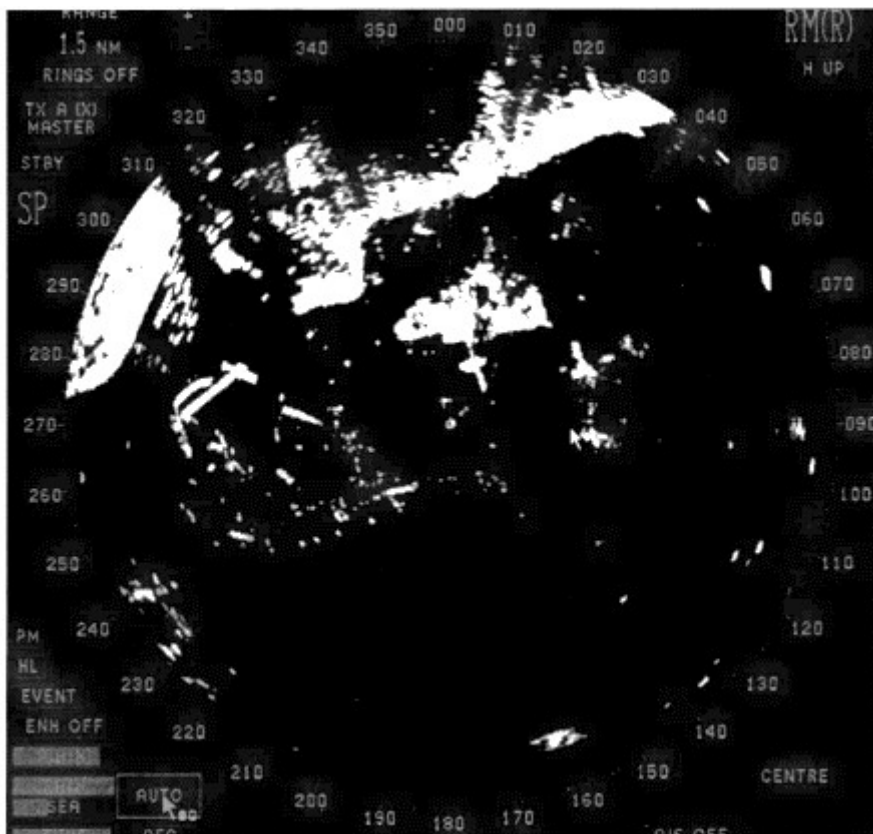


Рисунок 2.28 – Автоматичне пригнічення завад

Автоматичні системи значно спрощують роботу судноводія, однак вони не є універсальними. У деяких випадках вони можуть пригнічувати не лише завади, але й слабкі корисні сигнали.

Окрім морських і дощових завад, можуть виникати інші небажані відбиття – наприклад, від конструкцій судна або берегових об'єктів. Частина з них має регулярний характер і може проявлятися у вигляді радіальних або дугоподібних структур.

Тому автоматичне пригнічення завад не повинно використовуватися безконтрольно. У складних умовах судноводій повинен періодично переходити до ручного режиму налаштування, щоб перевірити наявність слабких цілей.

Це особливо важливо як у спокійних умовах, коли необхідно оцінити чутливість системи, так і при складній навігаційній обстановці, коли існує ризик пропуску малопомітних об'єктів.

Розглянуті методи обробки сигналів дозволяють сформувати впорядкований потік даних, у якому збережено інформацію про положення та інтенсивність відбиттів. Проте сам по собі цей потік ще не є зображенням у звичному для судноводія вигляді.

Наступним етапом є перетворення оброблених сигналів у візуальну форму, придатну для сприйняття та аналізу. Саме на цьому етапі визначається, яким чином цілі будуть представлені на індикаторі, як відображатиметься їх інтенсивність, форма і взаємне розташування.

Таким чином, обробка сигналів логічно переходить у процес індикації, який завершує формування радіолокаційної картини обстановки і безпосередньо пов'язаний із прийняттям навігаційних рішень.

2.5. Засоби відображення та типи індикації

Інформація, сформована в приймальному тракті та оброблена алгоритмами пригнічення завад, набуває практичного значення лише після її перетворення у візуальну форму. Саме засоби відображення визначають, яким чином судноводій сприймає радіолокаційну обстановку і приймає рішення.

Індикатор радіолокаційної станції включає кілька взаємопов'язаних елементів, які разом забезпечують формування та відображення інформації. Центральним із них є екран індикатора кругового огляду (Plan Position Indicator, PPI), на якому відображається радіолокаційна картина.

Навколо екрана розташоване інформаційне поле, у якому відображаються параметри роботи станції та навігаційні дані: обраний масштаб дальності, характеристики цілей, курс судна за гірокомпасом, швидкість відносно води або ґрунту, а також стан і режими роботи радіолокатора.

Керування системою здійснюється за допомогою панелі управління, що містить органи введення – кнопки, регулятори та перемикачі. Через них оператор задає режими роботи та виконує налаштування, які безпосередньо впливають на якість зображення.

Формування допоміжних елементів індикації забезпечує графічний генератор. До них належать електронні пеленгатори (EBL), змінні кільця дальності (VRM), навігаційні лінії, контури цілей та інші елементи, що допомагають у навігаційному аналізі.

Усі обчислення, а також перетворення команд оператора у сигнали відображення виконує радіолокаційний комп'ютер, який інтегрує інформацію з різних джерел і формує кінцеве зображення.

Форма організації індикації визначається міжнародними вимогами, зокрема резолюціями ІМО MSC.192(79) та MSC.191(79), які регламентують як технічні параметри радіолокаційного обладнання, так і принципи представлення навігаційної інформації.

2.5.1. Розвиток засобів відображення

Перші радіолокаційні індикатори базувалися на електронно-променевих трубках. У таких системах електронна гармата формувала пучок електронів, який під дією фокусувальних і відхиляючих котушок переміщувався по поверхні екрана.

Рух електронного пучка від центра до краю екрана відбувався синхронно з передаванням імпульсів. Швидкість цього руху визначалася масштабом дальності, що забезпечувало відповідність положення відмітки реальній відстані до цілі.

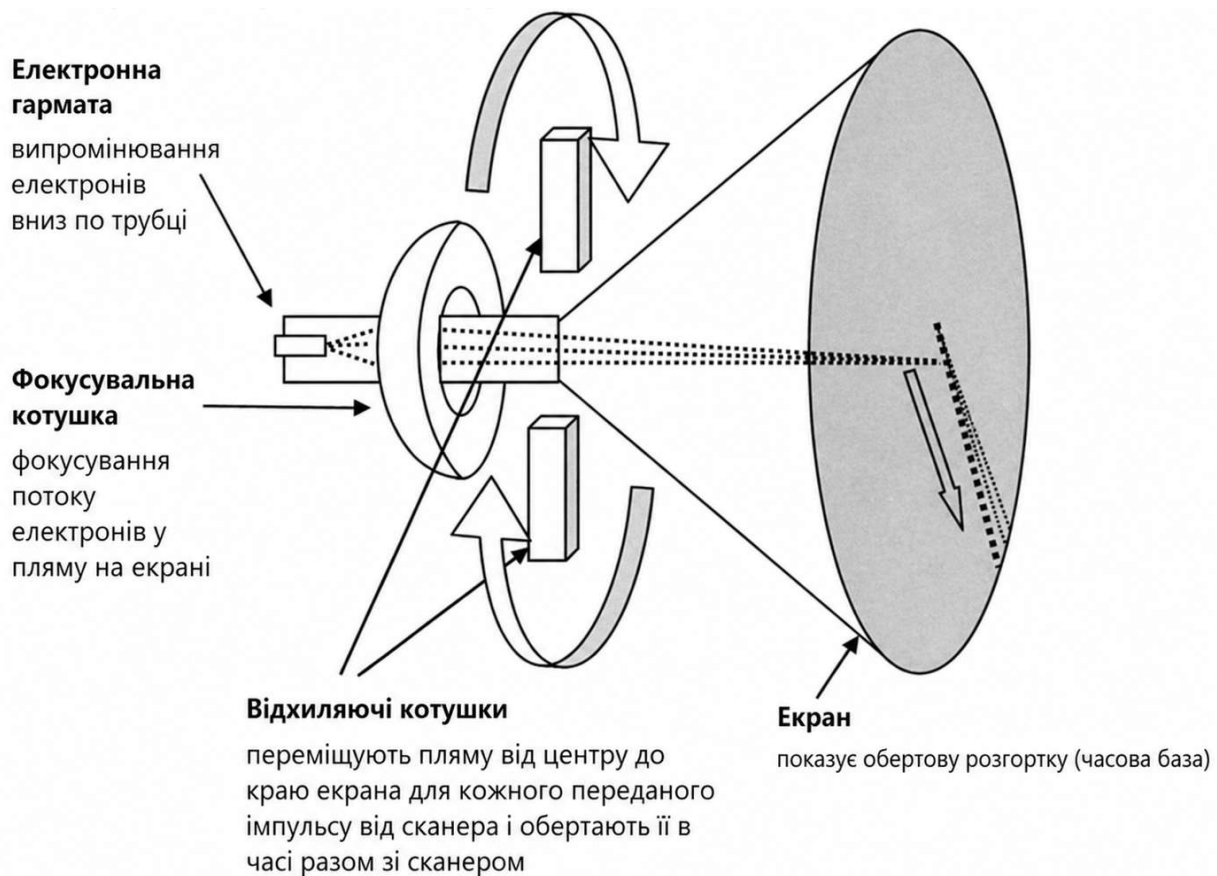


Рисунок 2.29 – Електронно-променева трубка та формування світної точки і радіальної розгортки

У момент приймання ехо-сигналу відповідна точка на екрані ставала яскравішою, формуючи відмітку. Оскільки цей процес повторювався для кожного імпульсу, на екрані виникала радіальна розгортка, яка оберталася разом із антеною.

З розвитком технологій було здійснено перехід до телевізійних і комп'ютерних систем відображення. У таких системах електронний пучок переміщується по екрану рядок за рядком, формуючи растрове зображення.

Екран складається з великої кількості пікселів, кожен із яких може змінювати свою яскравість. На відміну від попередніх систем, тут відсутній прямий зв'язок між рухом пучка та напрямком антени. Уся інформація попередньо обробляється і перетворюється у цифрову форму.

На цьому етапі відбувається інтеграція даних не лише від радіолокатора, але й від зовнішніх навігаційних систем – GPS, гірокомпаса, лага, AIS та електронних картографічних засобів.

У сучасних радіолокаційних станціях використовуються рідкокристалічні дисплеї (LCD). Їх робота базується на зміні орієнтації молекул рідких кристалів під дією електричного поля. Молекули розташовані між шарами поляризованого скла, а керування ними здійснюється за допомогою тонкоплівкових транзисторів, які формують структуру пікселів.

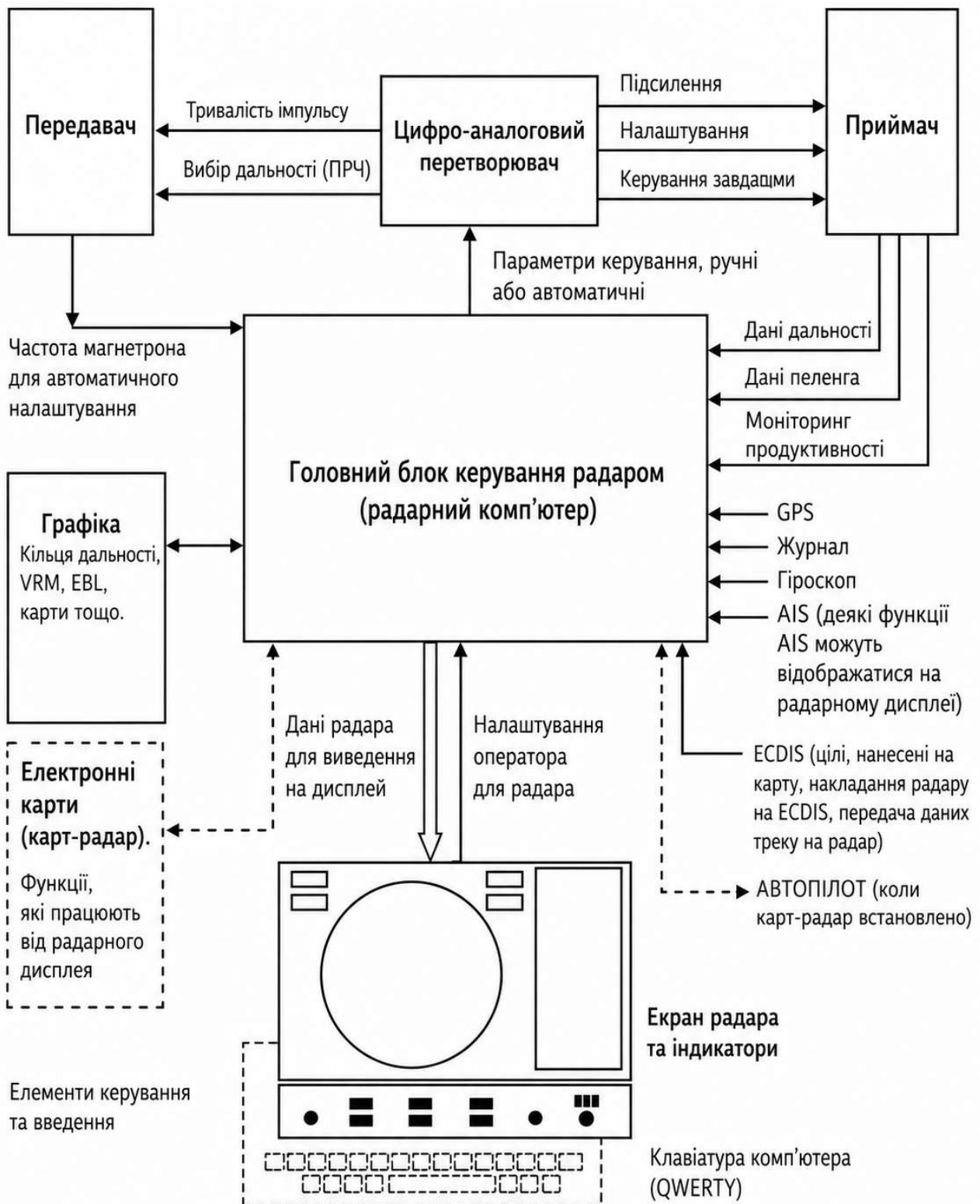


Рисунок 2.30 – Структурна схема формування та відображення радіолокаційної інформації

Зміна орієнтації молекул визначає кількість світла, що проходить через піксель, і, відповідно, його яскравість. Типовий дисплей забезпечує відображення багатьох градацій яскравості, що дозволяє передавати різні рівні інтенсивності відбитого сигналу.

У кольорових дисплеях кожен піксель складається з трьох компонентів – червоного, зеленого і синього. Зміна їх інтенсивності дозволяє формувати

широкий спектр кольорів, що підвищує інформативність радіолокаційного зображення.

Таким чином, розвиток засобів відображення пройшов шлях від безпосереднього формування зображення електронним променем до цифрових систем із багаторівневою обробкою. Це не лише підвищило якість індикації, але й створило основу для інтеграції радіолокаційної інформації з іншими навігаційними джерелами.

У результаті індикатор перестав бути лише засобом відображення і перетворився на повноцінний інформаційний центр, який забезпечує судноводія необхідними даними для оцінки обстановки та прийняття рішень.

2.5.2. Сучасні засоби відображення та принципи їх реалізації

Подальший розвиток засобів відображення безпосередньо пов'язаний із впровадженням рідкокристалічних дисплеїв.

Рідкокристалічний дисплей (Liquid Crystal Display, LCD) використовує властивості рідких кристалів, які поєднують риси рідини та впорядкованої структури твердого тіла. Це дозволяє змінювати орієнтацію молекул під дією електричного поля та, відповідно, керувати проходженням світла через екран.

Конструктивно дисплей складається з кількох шарів. Основу становлять два шари поляризованого скла, між якими розміщується шар рідких кристалів. Керування їх станом здійснюється за допомогою шару тонкоплівкових транзисторів (Thin Film Transistors, TFT), а зі зворотного боку розташовується джерело підсвічування.

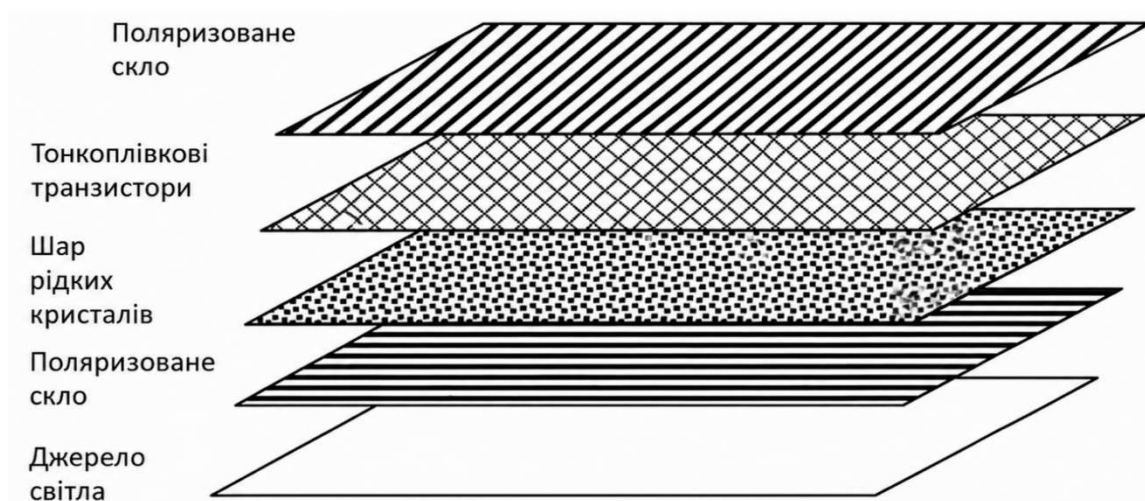


Рисунок 2.31 – Структура рідкокристалічного дисплея (LCD)

Під дією електричного сигналу змінюється орієнтація молекул рідких кристалів, що визначає кількість світла, яке проходить через окремий елемент екрана. Таким чином формується зображення, яке складається з великої кількості пікселів.

Кожен піксель може відображати різні рівні яскравості, що забезпечує формування градацій сірого. У типовому випадку дисплей здатний передавати до 256 рівнів яскравості. У кольорових дисплеях кожен піксель поділяється на три

підпикселі – червоний, зелений і синій, комбінація яких дозволяє формувати широкий спектр кольорів.

Сучасні радіолокаційні дисплеї характеризуються високою роздільною здатністю. Типові значення можуть становити, наприклад, 1900×1200 пікселів і більше. За нормальної відстані спостереження (приблизно 30–40 см) окремі пікселі практично не розрізняються, і зображення сприймається як безперервне.

Лише при уважному розгляді можна помітити ефект пікселізації – зернистість зображення, яка особливо проявляється на криволінійних елементах, таких як кільця дальності або змінні кільця дальності (VRM), що формуються дискретними елементами.

Технології дисплеїв, які активно розвиваються в комп’ютерній і телевізійній галузях, безпосередньо впливають на розвиток радіолокаційних індикаторів і суміжних систем на містку судна, включаючи ECDIS. Використання серійних технологій дозволяє значно знизити вартість обладнання і водночас скористатися перевагами швидкого розвитку електроніки.

Це принципово відрізняється від попередніх етапів розвитку, коли кожен виробник радіолокаторів змушений був самостійно розробляти та виготовляти електронно-променеві трубки.

Застосування растрової індикації та LCD-технологій забезпечує значно більшу гнучкість у способах представлення радіолокаційної інформації. Водночас зовнішній вигляд індикатора та його функціональні можливості регламентуються вимогами ІМО, які визначають мінімальний набір елементів і режимів, необхідних для безпечного судноводіння.

Змінився також підхід до керування радіолокаційною станцією. Якщо у ранніх системах використовувалася велика кількість фізичних перемикачів і регуляторів, то сучасні індикатори мають обмежену кількість органів керування.



Рисунок 2.32 – Приклад сучасної панелі керування радіолокаційної станції

Більшість функцій реалізується через екранні меню, що викликаються за допомогою курсора, трекбола або сенсорного інтерфейсу. Разом з тим для критично важливих параметрів, таких як підсилення або пригнічення завад, у ряді систем зберігаються окремі обертові регулятори.

Навіть у цих випадках сигнал від органів керування зазвичай передається до обчислювальної системи у цифровій формі, після чого перетворюється для впливу на відповідні вузли приймального тракту.

Таким чином, сучасні засоби відображення не лише відтворюють радіолокаційну інформацію, а й забезпечують її інтеграцію, обробку та зручне керування. Це безпосередньо впливає на ефективність роботи судноводія і підсилює роль людського елемента у процесі інтерпретації радіолокаційної обстановки.

2.6. Керування та налаштування радіолокаційної станції

Сучасна радіолокаційна станція є складною комп'ютеризованою системою. Ефективне використання її можливостей неможливе без практичного ознайомлення оператора з обладнанням, вивчення інструкцій та набуття досвіду роботи з органами управління.

Функції керування та налаштування радіолокаційної станції можна умовно поділити на кілька категорій. До першої належать функції безпосереднього використання, які оператор повинен швидко змінювати в процесі роботи. Це, зокрема, встановлення масштабів дальності, зміна шкали дальності, захоплення цілей, перемикання режимів відображення, вибір режимів векторів руху та інші подібні операції.

До другої категорії належать функції, які не потребують миттєвої зміни. Це, наприклад, налаштування навігаційних або паралельних індексних ліній, зміна орієнтації зображення, налаштування часових параметрів векторів, регулювання пригнічення завад, вмикання або вимикання карт чи маршрутів.

Третю категорію становлять налаштування, які виконуються відносно рідко і після встановлення зазвичай не змінюються протягом тривалого часу. До них належать встановлення меж тривоги для СРА і ТСРА, налаштування охоронних зон, створення карт.

Четверта категорія включає функції технічного обслуговування та фундаментальні налаштування, які виконуються рідко і, як правило, лише спеціалістами. Вони можуть включати параметри фільтрації, дані про судно, положення антени відносно опорної точки (CCRP), налаштування секторів радіолокаційної тіні.

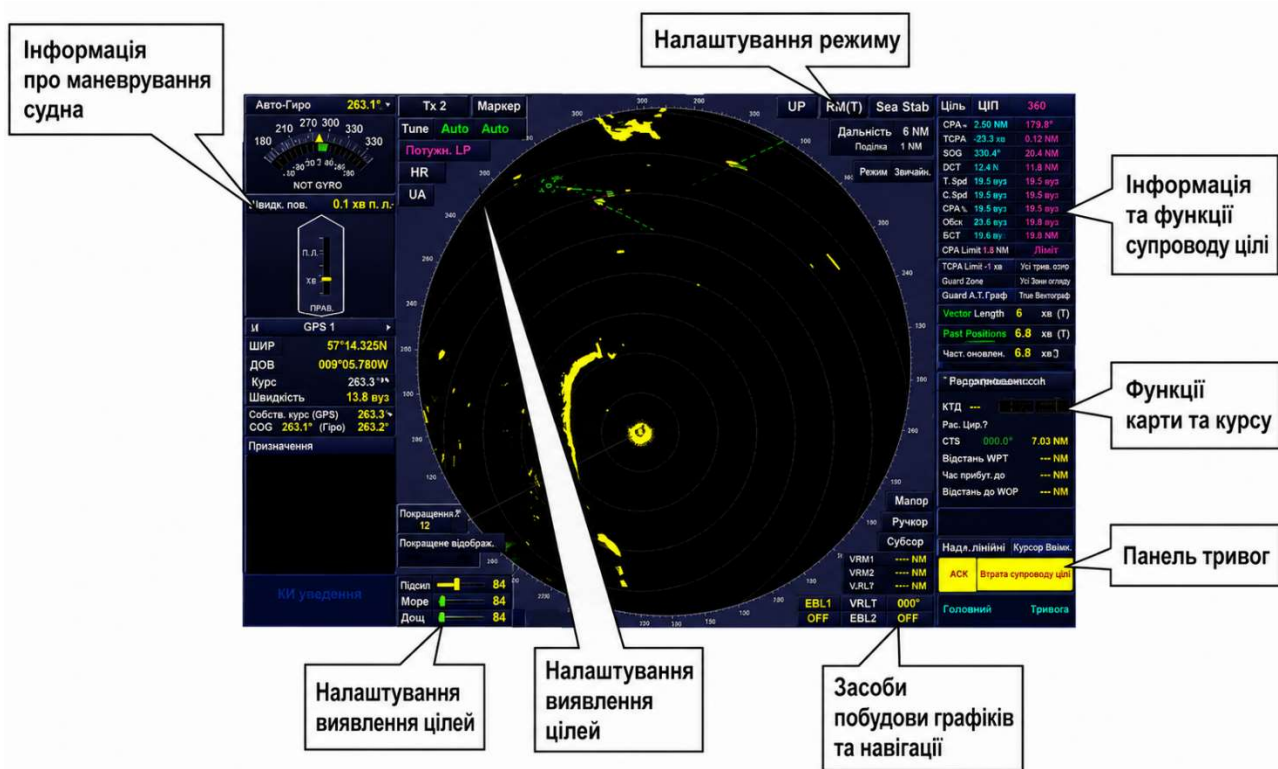


Рисунок 2.33 – Приклад сучасного радіолокаційного індикатора з розподілом функціональних зон

Процес увімкнення радіолокаційної станції починається з використання головного вимикача живлення, який, як правило, розташований на панелі управління. У більшості сучасних систем після увімкнення автоматично запускається процедура самодіагностики, під час якої перевіряється працездатність основних компонентів.

Одночасно відбувається процес прогріву (warming up), який може тривати до трьох хвилин. До завершення цього процесу передавання сигналу блокується. У радіолокаційних станціях нового покоління така затримка практично відсутня, і після самодіагностики система майже одразу готова до роботи.

Після завершення прогріву система переходить у режим «stand-by». При цьому дисплей активний, і більшість функцій доступні для налаштування. Для переходу в режим передачі необхідно активувати функцію «Transmit».

2.6.1. Оперативні керування та обробка сигналу

У процесі несення вахти судноводії постійно працює з функціями, які повинні бути доступними для швидкого налаштування.

Однією з ключових є вибір масштабу дальності. У більшості систем ця функція реалізована як «жорстке» керування – кнопками збільшення або зменшення масштабу. Водночас у деяких системах вона може виконуватися через програмне меню.

Функції кілець дальності, VRM та EBL зазвичай реалізуються через програмні елементи керування, хоча їх налаштування часто здійснюється за допомогою обертових регуляторів або трекбола.

Зміна орієнтації зображення (Head-Up, North-Up, Course-Up) також виконується через програмне керування і має важливе значення для інтерпретації обстановки.

Регулювання підсилення і підстроювання сигналу визначає чутливість системи. У сучасних радіолокаторах часто використовується автоматичне підстроювання (AFC), хоча в окремих випадках оператор може виконувати його вручну.

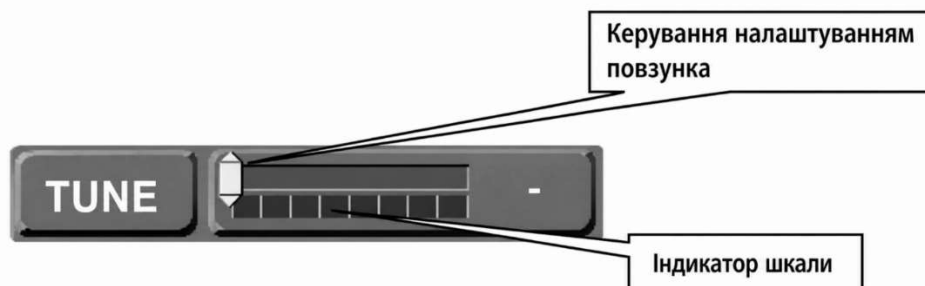


Рисунок 2.34 – Приклад елемента керування підстроюванням

Окрему роль відіграють функції пригнічення завад. Вони можуть бути реалізовані як у вигляді «жорсткого», так і програмного керування. У більшості систем передбачено автоматичні режими, які адаптуються до умов спостереження.

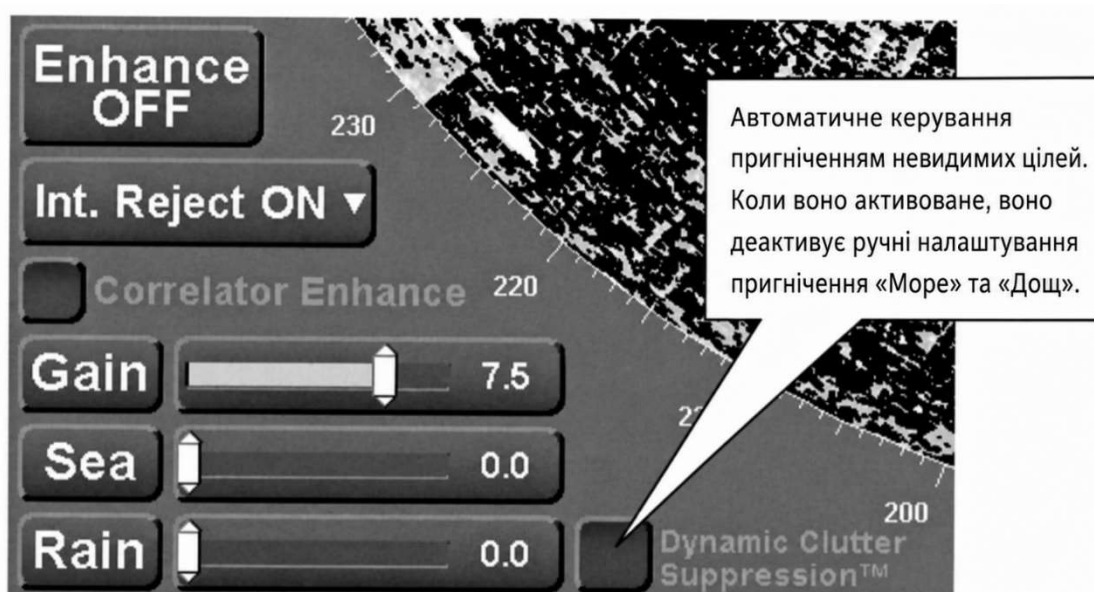


Рисунок 2.35 – Керування підсиленням і пригніченням завад

Разом із тим автоматичні системи не завжди забезпечують оптимальний результат. У складних умовах вони можуть пригнічувати слабкі цілі разом із завадами. Саме тому оператор повинен періодично переходити до ручного налаштування, перевіряючи наявність малопомітних об'єктів.

2.6.2. Системні налаштування та завершення

Окрім оперативних керувань, існує група функцій, які не потребують частого втручання, але визначають загальну поведінку системи.

До них належать налаштування часу векторів, режимів відображення траєкторій, відображення історії руху, режим пробного маневру, паралельні індексні лінії, керування картографічною інформацією, охоронними зонами, а також регулювання яскравості екрана і режимів освітлення.

Ще рідше змінюються параметри безпеки – межі CPA і TCPA, параметри тривоги і налаштування зон контролю. Після встановлення вони, як правило, залишаються незмінними протягом тривалого часу.

Фундаментальні налаштування включають параметри судна, положення антени, підключення зовнішніх систем (лаг, гірокомпас, GPS, AIS, ECDIS) та інші конфігураційні параметри. Втручання у ці налаштування без належної підготовки може призвести до порушення роботи системи.

Таким чином, індикатор радіолокаційної станції є не лише засобом відображення, а повноцінним інтерфейсом взаємодії між людиною та технічною системою. Первинні сигнали проходять складну обробку і подаються у вигляді радіолокаційного зображення, доповненого даними від інших навігаційних джерел.

Ефективність використання радіолокаційної станції значною мірою визначається правильністю її налаштування та розумінням принципів роботи оператором. Саме тут ключову роль відіграє людський елемент, який забезпечує зв'язок між технічними можливостями системи та реальними навігаційними рішеннями.

2.7. Налаштування суднового радіолокатора під навігаційну задачу

Процес налаштування радіолокаційної станції має виконуватися системно і послідовно, оскільки від правильності встановлення параметрів безпосередньо залежить повнота виявлення навколишніх об'єктів у конкретних умовах плавання.

Під налаштуванням слід розуміти не лише початкове ввімкнення радіолокатора, наприклад перед виходом із порту, але й регулярне приведення його параметрів у відповідність до поточної навігаційної обстановки. Така процедура є обов'язковою при заступанні на вахту і повинна виконуватися з урахуванням фактичних умов – дальності огляду, стану моря, наявності опадів і щільності руху.

Метою налаштування є забезпечення відображення максимально повної радіолокаційної інформації. На початковому етапі система повинна передавати так звані «сирі» дані без втрат і спотворень. Лише після цього допускається застосування засобів фільтрації – пригнічення завад, автоматичних режимів обробки та інших допоміжних функцій.



Рисунок 2.36 – Розміщення антени радіолокатора на щоглі судна

Неправильне налаштування може призвести до втрати окремих цілей, зокрема слабких або малорозмірних, що створює потенційно небезпечну ситуацію. У цьому сенсі якість радіолокаційного спостереження визначається не

лише технічними можливостями станції, але й діями судноводія, тобто безпосередньо пов'язана з людським елементом.

Перед початком налаштування необхідно переконатися у безпечних умовах роботи антенної системи. Антена повинна вільно обертатися, а в зоні її дії не повинно бути людей або сторонніх предметів. Особливу увагу слід приділити відсутності ослаблених тросів чи елементів такелажу, які можуть бути захоплені обертовими частинами. Це важливо як для запобігання травмуванню, так і для уникнення пошкодження обладнання.

2.7.1. Початкове налаштування та введення радіолокатора в роботу

Початкове налаштування радіолокатора починається з приведення всіх органів керування у вихідний стан. Підсилення (gain), підстроювання (tuning), а також регулятори пригнічення завад повинні бути встановлені у мінімальні або нейтральні положення. Це дозволяє виключити вплив попередніх налаштувань і забезпечує єдину відправну точку для подальшої роботи.

Після цього виконується увімкнення радіолокаційної станції. У процесі запуску система переходить у режим підготовки (warming up), під час якого здійснюється самодіагностика і підготовка елементів передавального та приймального трактів. Лише після завершення цього етапу радіолокатор може бути переведений у режим випромінювання (Transmit).

Одразу після запуску необхідно відрегулювати яскравість індикатора відповідно до умов освітлення на містку. Надмірна яскравість призводить до «засвічування» екрана і втрати контрасту, тоді як недостатня – ускладнює виявлення слабких цілей і сприйняття інформації. Таким чином, навіть цей етап безпосередньо впливає на здатність судноводія правильно оцінювати обстановку.

Наступним кроком є перевірка вхідних даних від зовнішніх навігаційних систем. Необхідно впевнитися у правильності інформації, що надходить від гірокомпаса, систем позиціювання (GPS або DGPS), лага, AIS та інших джерел. Особливу увагу слід приділити курсу і швидкості судна, оскільки ці параметри використовуються для розрахунку руху цілей і формування відносної картини обстановки.

Після перевірки даних обирається орієнтація зображення – Head-Up, North-Up або Course-Up – а також режим руху: відносний (Relative Motion) або істинний (True Motion). Цей вибір визначає спосіб сприйняття інформації. У режимі відносного руху зручніше оцінювати небезпеку зближення, тоді як режим істинного руху дає більш наочне уявлення про загальну навігаційну обстановку.

Далі встановлюється масштаб дальності. На початковому етапі доцільно обирати середній діапазон, наприклад 6 або 12 морських миль, який забезпечує достатній огляд і водночас дозволяє детально налаштувати параметри відображення. Надто великий масштаб зменшує деталізацію поблизу судна, тоді як надто малий не дозволяє оцінити ситуацію в ширшому районі.

Одночасно з вибором масштабу автоматично визначається тривалість імпульсу. Для малих дальностей використовується короткий імпульс, що забезпечує кращу роздільну здатність, тоді як для великих дальностей – довгий імпульс, який підвищує ймовірність виявлення віддалених цілей.

Після виконання цих дій радіолокатор переходить у стан, придатний для подальшого, більш точного налаштування параметрів приймального тракту і обробки сигналу.

2.7.2. Точне налаштування та перевірка параметрів вимірювання

Після виконання початкових операцій радіолокатор переходить у стан, придатний для точного налаштування. На цьому етапі основним завданням є досягнення максимальної чутливості системи без втрати достовірності відображення.

Першим перевіряється правильність курсової орієнтації радіолокатора. Курсова лінія повинна відповідати фактичному курсу судна: у режимі Head-Up вона має збігатися з нульовою позначкою шкали, а в режимі North-Up – відповідати значенню гірокомпаса. Важливо враховувати, що у деяких системах шкала пеленгів не компенсує зміщення центра відображення відносно геометричного центра екрана, що може впливати на точність відліків.

Для додаткової перевірки використовується електронна лінія пеленгу (EBL). Обертаючи її навколо центра екрана, необхідно проконтролювати правильність відліків у напрямках 000° , 090° , 180° та 270° . Така перевірка дозволяє виявити можливі систематичні похибки у визначенні напрямків.

Наступним етапом є встановлення підсилення приймача (gain). Початково підсилення встановлюється на мінімальне значення, після чого поступово збільшується. У міру зростання підсилення підвищується чутливість системи, і на екрані починають з'являтися слабкі сигнали.

Ознакою досягнення граничної чутливості є поява рівномірного слабкого шуму у вигляді дрібної «зернистості» по всій площині екрана. Це означає, що приймач працює на межі можливостей. Після цього підсилення доцільно дещо зменшити, щоб шум зберігався лише епізодично. У такому положенні забезпечується оптимальне співвідношення між виявленням слабких цілей і рівнем завад.

Після налаштування підсилення виконується перевірка центрування радіолокаційного зображення. За допомогою кілець дальності необхідно переконатися, що вони рівномірно віддалені від країв екрана. Порушення центрування може призводити до систематичних помилок у визначенні пеленгів.

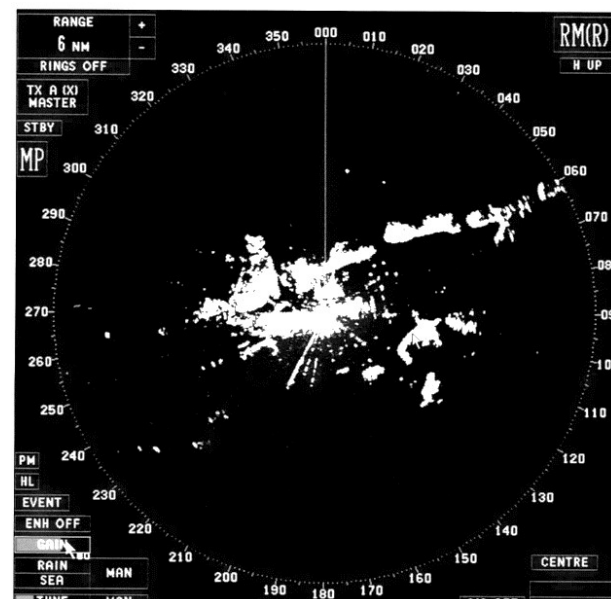
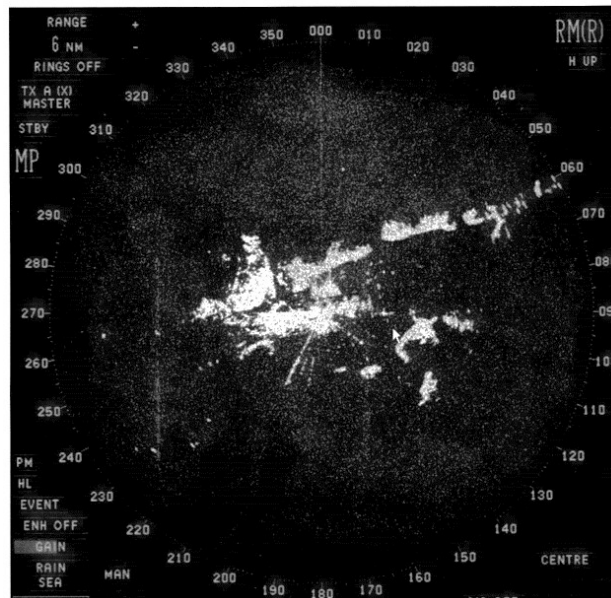
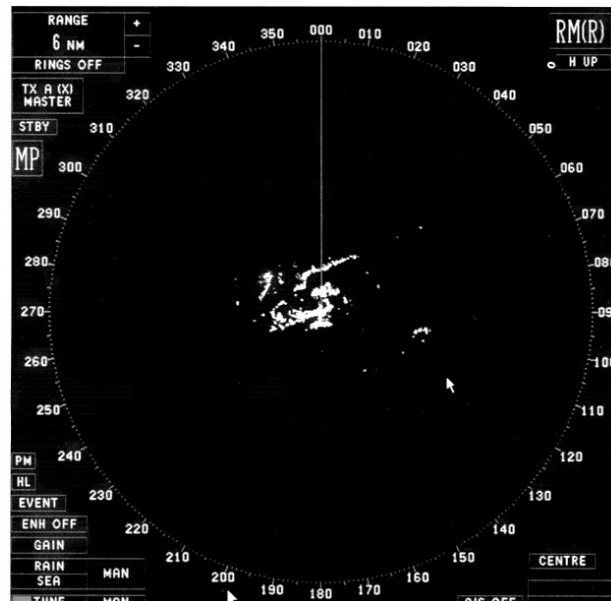


Рисунок 2.37 – Екран радіолокатора при заниженому, надмірному й правильному підсиленні

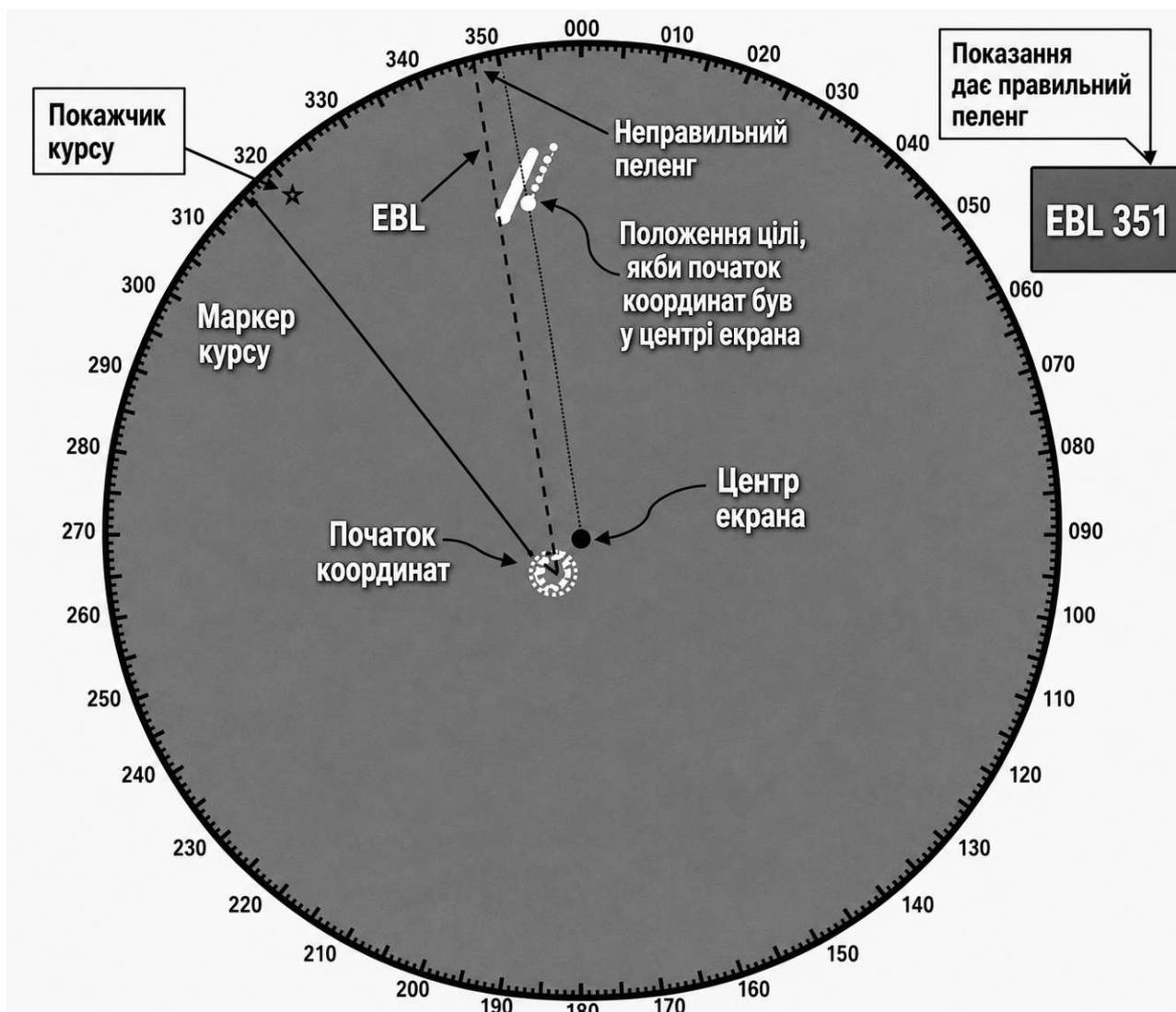


Рисунок 2.38 – Приклад неправильного центрування радіолокаційного зображення)

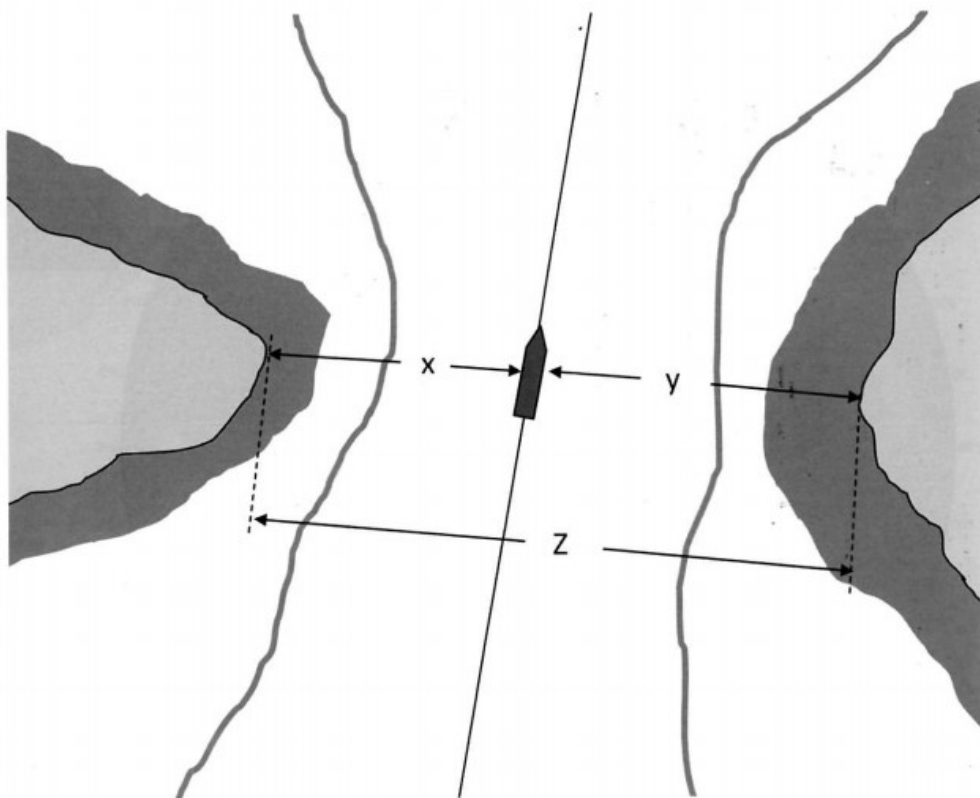
Далі здійснюється перевірка точності вимірювання дальності із використанням змінного кільця дальності (VRM). Отримані значення порівнюються з відомими відстанями за картографічними даними або за об'єктами з відомою геометрією розташування.

У разі необхідності може бути визначена систематична похибка. Наприклад, при проходженні між двома орієнтирами, відстань між якими відома, похибка може бути оцінена як:

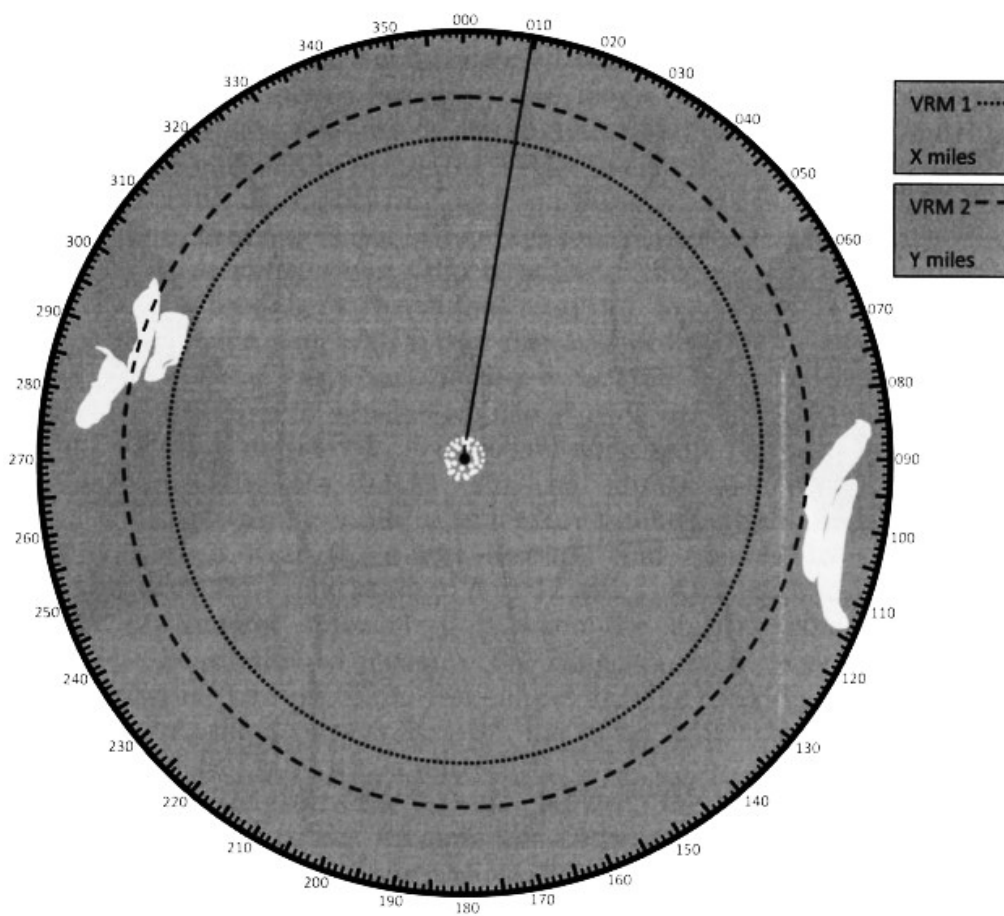
$$\text{похибка} = (Z - (x + y)) / 2$$

де x і y – виміряні відстані до орієнтирів, а Z – відстань між ними за картою.

Ця процедура дозволяє врахувати індексну похибку радіолокатора.



a)



б)

Рисунок 2.39 – Схеми визначення (а) й перевірки (б) індексної похибки радіолокатора.

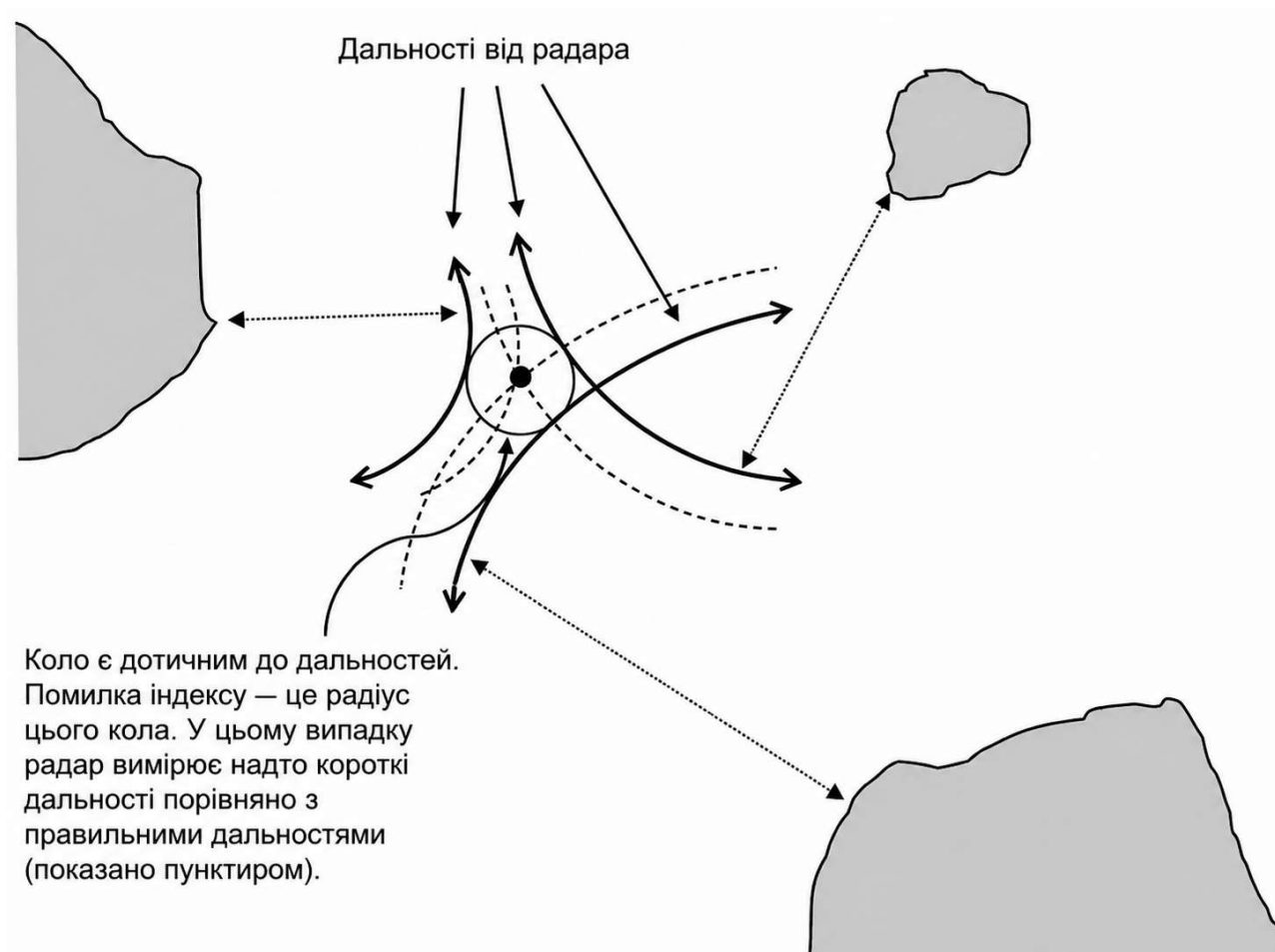


Рисунок 2.40 – Визначення індексної похибки за трьома дальностями.

Завершальним етапом точного налаштування є підстроювання приймача (tuning). Ця процедура забезпечує узгодження частоти приймального тракту з частотою переданого сигналу.

Налаштування виконується у ручному режимі шляхом плавної зміни положення регулятора. При цьому необхідно спостерігати за слабкими цілями, бажано розташованими на межі видимості. У процесі налаштування ці цілі починають з'являтися і зникати. Оптимальне положення відповідає моменту, коли слабкі відбиття ще залишаються видимими.

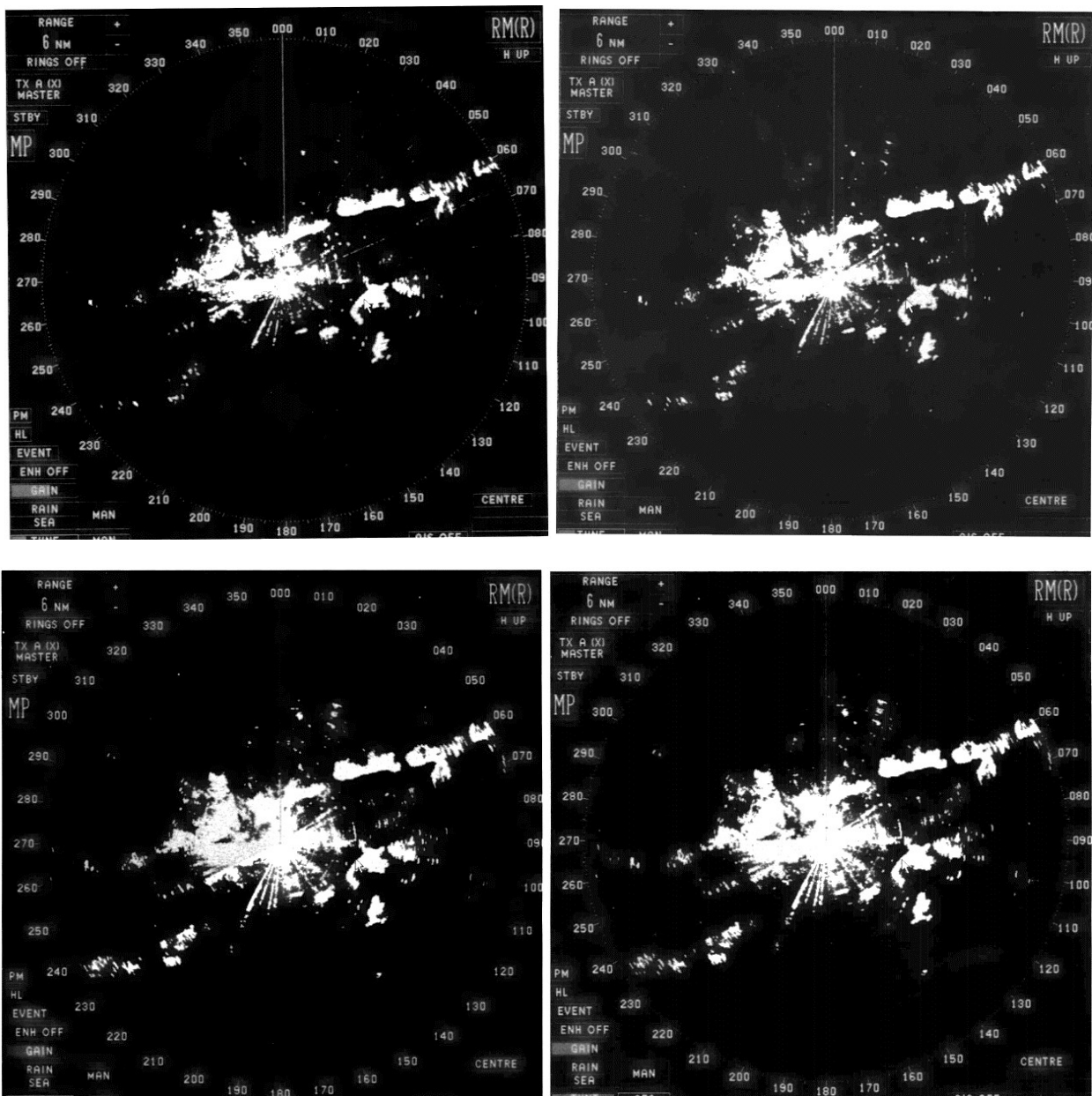


Рисунок 2.41 – Етапи налаштування

У сучасних системах часто застосовується автоматичне налаштування. Однак навіть у цьому випадку доцільно виконати ручну перевірку, щоб переконатися у коректності роботи автоматичного режиму і здатності системи виявляти слабкі цілі.

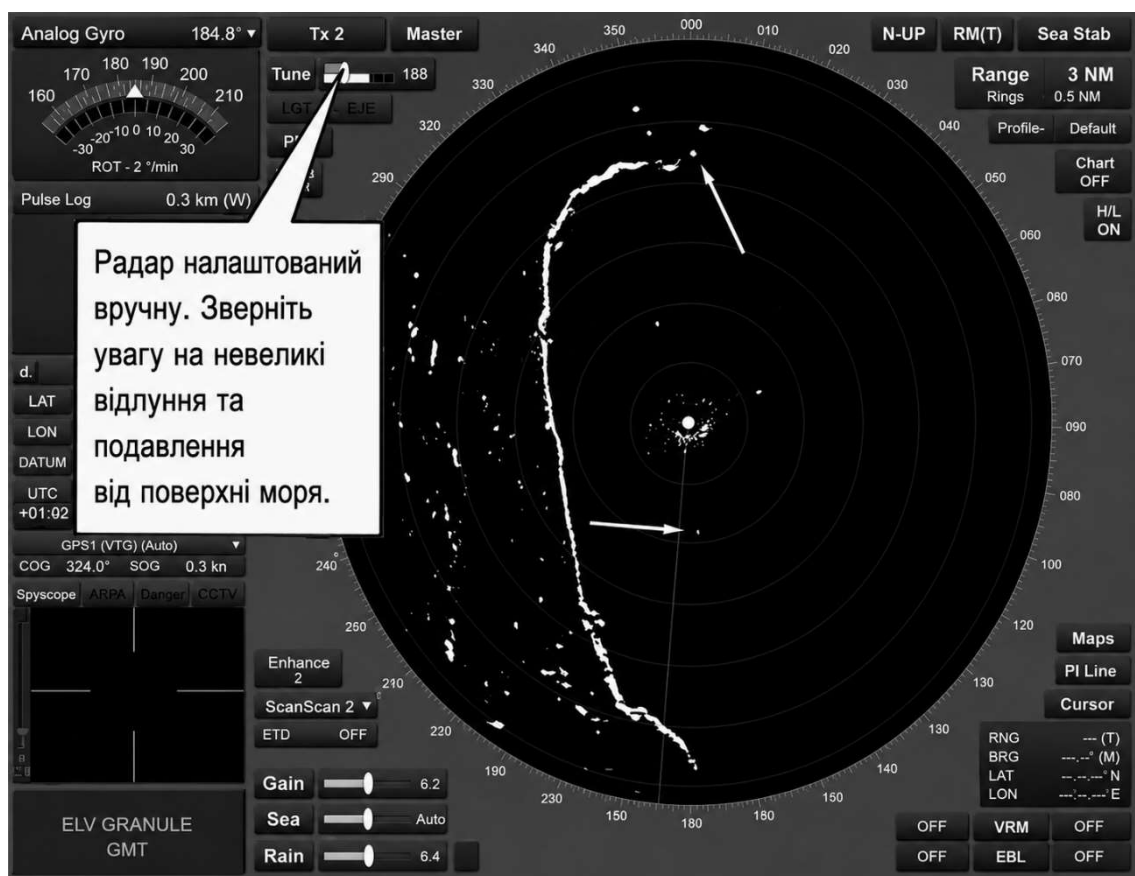
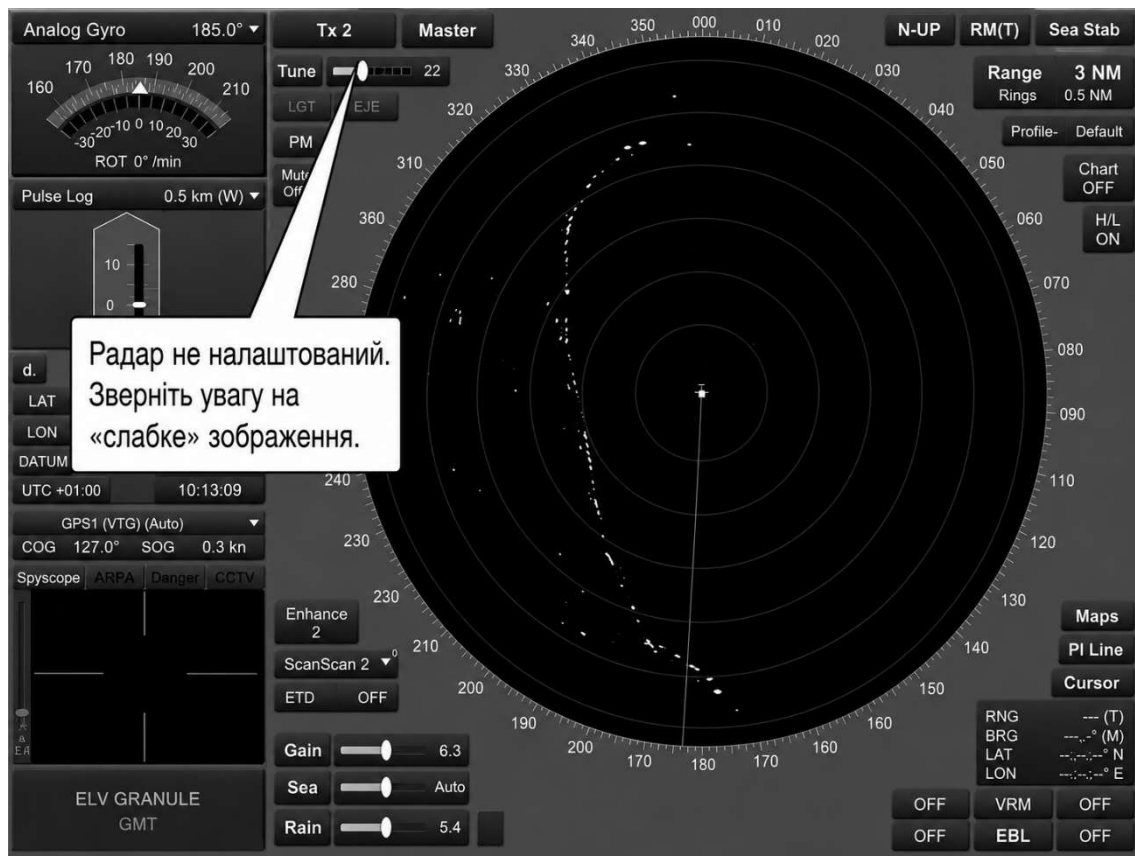


Рис. 2.42 – Порівняння ручного та автоматичного налаштування

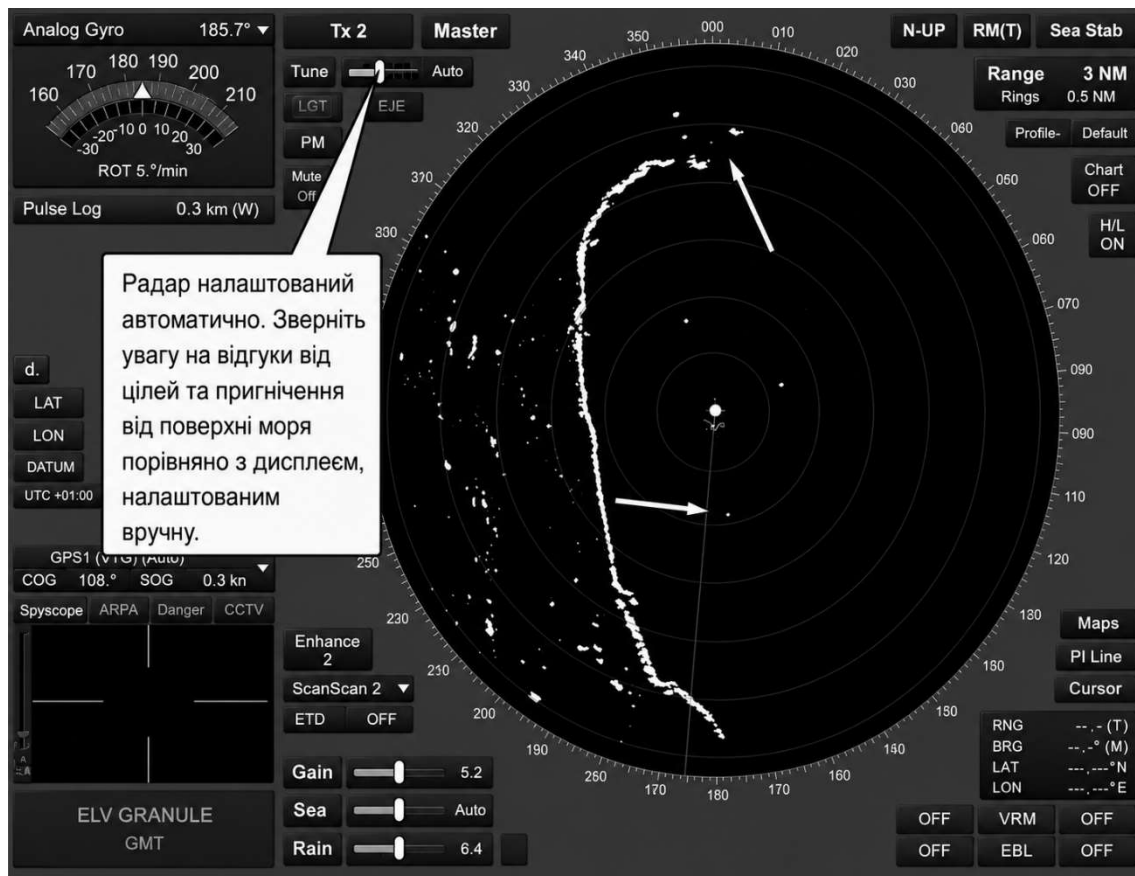


Рис. 2.42 (продовження) – Порівняння ручного та автоматичного налаштування

Таким чином, точне налаштування радіолокатора полягає не лише у встановленні окремих параметрів, але й у послідовній перевірці їх взаємного узгодження. Саме на цьому етапі формується достовірна радіолокаційна картина, яка надалі використовується для оцінки обстановки і прийняття рішень.

2.7.3. Робочі функції індикатора та допоміжні засоби

Після завершення налаштування основних параметрів радіолокатор переходить у режим безпосереднього використання. На цьому етапі судноводій працює не лише з «сирим» зображенням, але й із набором інструментів, які дозволяють вимірювати параметри руху цілей, аналізувати обстановку і підвищувати інформативність відображення.

Одними з основних інструментів є електронні лінії пеленгу (EBL) і змінні кільця дальності (VRM). Вони використовуються для визначення напрямку і відстані до цілей. У більшості сучасних радіолокаторів передбачено щонайменше дві такі лінії і два кільця, які можуть незалежно обертатися і зміщуватися відносно центра екрана. Це дозволяє виконувати вимірювання як відносно власного судна, так і відносно будь-якої обраної точки.

Положення EBL і VRM відображається у відповідних інформаційних полях, де значення можуть задаватися як у відносних, так і в істинних величинах. У деяких режимах можливе також їх «прив'язування» до географічної позиції, що дозволяє використовувати ці інструменти для більш складних навігаційних задач.

Наступним важливим елементом є курсор, який виконує функцію універсального інструмента керування. При переміщенні за межами радіолокаційного зображення він забезпечує доступ до меню і функцій системи, а при роботі безпосередньо на екрані – використовується для вибору цілей, виконання вимірювань і керування елементами відображення. Як правило, курсор змінює форму залежно від режиму роботи, що полегшує його використання.

Положення курсора може відображатися у вигляді дальності та пеленга відносно центра екрана або у вигляді географічних координат за наявності сигналу від систем позиціонування. Це дозволяє інтегрувати радіолокаційну інформацію з іншими навігаційними даними.

Окрему роль відіграють функції, пов'язані з аналізом руху цілей. Після захоплення цілі (acquire) вона передається у систему автоматичного супроводження, де для неї розраховуються параметри руху. На екрані з'являється вектор, який відображає напрямок і швидкість переміщення цілі за заданий інтервал часу. Довжина вектора визначається часовим інтервалом і може змінюватися залежно від задачі спостереження.

Вектори можуть відображатися у відносному або істинному вигляді. У першому випадку вони показують рух цілі відносно власного судна, що зручно для оцінки небезпеки зближення. У другому – відображають реальний рух цілі відносно поверхні Землі.

Додаткову інформацію про характер руху надають сліди цілей (trails) або історія руху (past positions). Вони відображають попередні положення цілі у вигляді послідовності точок або безперервної лінії. Інтервал часу між такими відмітками може задаватися оператором. Це дозволяє оцінити маневрування цілі, зміну її швидкості або курсу.

Ще одним інструментом навігаційного аналізу є паралельні індексні лінії (Parallel Index Lines). Вони використовуються для контролю положення судна відносно заданої траєкторії або навігаційних орієнтирів. Такі лінії можуть обертатися і зміщуватися на задану відстань, що дозволяє адаптувати їх до конкретної навігаційної ситуації.

Інформаційні можливості радіолокатора значно розширюються за рахунок інтеграції з іншими системами. Зокрема, при увімкненні AIS на екрані відображаються судна та навігаційні об'єкти, що передають відповідні сигнали. Такі цілі можуть бути об'єднані з радіолокаційними відмітками, утворюючи єдине інформаційне представлення.

Картографічні функції дозволяють накладати електронні карти на радіолокаційне зображення. У режимі «chart radar» карта може вмикатися або вимикатися за потреби, а рівень деталізації регулюється через меню. Це забезпечує додатковий контекст для оцінки обстановки.

Окрему групу становлять функції керування відображенням. До них належать зміна кольорової гами і яскравості для різних умов освітлення, пригнічення взаємних перешкод від інших радіолокаторів, а також підсилення ехо-сигналів. Наприклад, функція подовження сигналу дозволяє краще виділяти слабкі відбиття, не змінюючи фізичних параметрів імпульсу.

Важливо враховувати, що використання цих функцій повинно бути обґрунтованим. Надмірне застосування засобів обробки може призвести до спотворення інформації або втрати окремих цілей. Тому будь-які зміни режимів відображення доцільно виконувати після впевненості у правильності базових налаштувань.

Таким чином, сучасний радіолокаційний індикатор є не лише засобом відображення інформації, але й інтерактивною системою аналізу навігаційної обстановки. Ефективність його використання визначається не лише технічними характеристиками, але й умінням судноводія правильно застосовувати доступні інструменти, що безпосередньо пов'язано з людським елементом у процесі управління судном.

2.8. Сучасні радіолокаційні технології

Розглянемо загальний розвиток радіолокаторів нового покоління (New Technology Radar, NT), що базуються на використанні твердотільних передавачів і сучасних методів обробки сигналу.

Впровадження таких систем стало можливим, зокрема, завдяки зміні підходу до стандартизації. Вимоги ІМО (резолюція MSC.192(79)) сформульовані з акцентом на досягнення результату, а не на конкретні технічні рішення. Це дозволило застосовувати нові методи формування і обробки сигналів, які раніше не відповідали жорстким вимогам традиційних стандартів.

Додатковим фактором розвитку стало зростання навантаження на радіочастотний спектр. Морські радіолокатори працюють у діапазонах 3 ГГц (S-band) і 9 ГГц (X-band), які перебувають під тиском з боку інших галузей зв'язку. Це стимулювало пошук більш ефективних способів використання енергії сигналу і підвищення його інформативності.

На відміну від традиційних радарів, у яких використовується магнетрон і короткі імпульси великої пікової потужності, радіолокатори нового покоління застосовують твердотільні передавачі з малою піковою потужністю, але значно більшою тривалістю імпульсу. Якщо у звичайних системах пікова потужність може становити десятки кіловат, то у NT-радарів вона знаходиться на рівні сотень ват.

Ця відмінність компенсується тим, що енергія сигналу розподіляється у часі, а його обробка здійснюється значно складнішими алгоритмами. Важливою перевагою є також когерентність сигналу – стабільність його частоти, що дозволяє ефективніше використовувати методи цифрової обробки.

2.8.1. Стиснення імпульсу та особливості обробки сигналу

Ключовим елементом роботи радіолокаторів нового покоління є використання довгих імпульсів у поєднанні з їх подальшим стисненням.

Тривалість такого імпульсу може досягати сотень або навіть тисяч мікросекунд, що значно перевищує параметри традиційних радарів. Сам по собі такий імпульс не дозволяє розділяти цілі за дальністю, тому застосовується спеціальна обробка – стиснення імпульсу.

Існує два основних підходи: частотна модуляція (chirp) і фазове кодування. У першому випадку частота сигналу змінюється протягом імпульсу, формуючи його унікальну характеристику – смугу частот. У другому випадку змінюється фаза сигналу за заданою схемою.

Після приймання сигнал проходить через узгоджений фільтр, який «стискає» довгий імпульс у короткий сигнал з великою амплітудою. У результаті досягається поєднання високої енергії і доброї роздільної здатності.

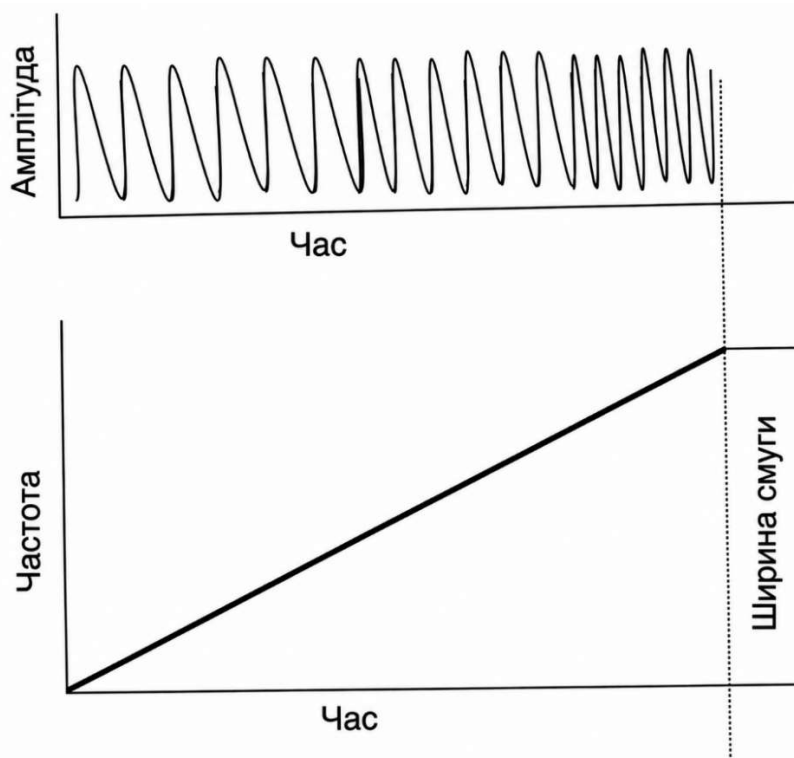


Рисунок 2.43 – Зміна частоти імпульсу у часі

Слід враховувати, що така обробка змінює характер формування радіолокаційного зображення. У традиційних системах роздільна здатність визначається фізичною тривалістю імпульсу, тоді як у NT-радарів вона формується алгоритмічно.

У результаті відмітки цілей стають більш «сконцентрованими», однак можуть виникати побічні ефекти. Зокрема, можливе утворення бічних піків сигналу поблизу сильних відбиттів, що може ускладнювати інтерпретацію.

Ще одним обмеженням є мінімальна дальність виявлення. Оскільки передавач і приймач працюють через одну антену, приймання сигналу можливе лише після завершення імпульсу. Для довгих імпульсів це призводить до збільшення «мертвої зони» поблизу судна.

Таким чином, імпульсне стиснення дозволяє досягти високої ефективності роботи радіолокатора, але вимагає врахування особливостей обробки сигналу.

2.8.2. Особливості експлуатації та налаштування

Використання нових технологій призводить до зміни підходів до налаштування радіолокатора.

У NT-радарів відсутні деякі традиційні регулювання, зокрема «довжина імпульсу» і «налаштування частоти (tuning)». Це пояснюється тим, що переданий і прийнятий сигнали мають однакову частоту, і необхідність у підстроюванні приймача відпадає.

Основна обробка сигналу виконується після його приймання, і оператор впливає переважно на параметри відображення та підсилення.

Пригнічення морських завад здійснюється аналогічно традиційним системам – шляхом зменшення підсилення на малих дальностях. Додатково застосовуються методи кореляційної обробки і використання ефекту Доплера, що дозволяє відокремлювати рухомі цілі від фону.

Дощові завади в таких системах, як правило, менш виражені, особливо в S-діапазоні, однак відповідні режими керування залишаються.

Особливе місце займає функція покращеного виявлення цілей (Enhanced Target Detection, ETD), яка дозволяє виділяти слабкі цілі на фоні завад.

Ця функція потребує певного досвіду використання. У деяких випадках морські завади можуть сприйматися як рухомі цілі, що вимагає уважної оцінки з боку судноводія.

Отже, якщо зібрати все разом, важливо зрозуміти одну просту річ: радар не показує «картинку світу». Він показує результат роботи системи.

Спочатку формується промінь – і вже на цьому етапі закладається багато обмежень. Ширина променя, побічні пелюстки, відбиття від моря – усе це впливає на те, що ви побачите на екрані.

Далі сигнал проходить через приймальний тракт. І тут він не просто підсилюється – він «відбирається». Частина сигналів губиться, частина змінюється, частина пригнічується як завади.

Потім додається обробка. Кореляція, фільтри, пригнічення морських і дощових завад – усе це робить картинку чистішою. Але водночас може «з'їсти» слабкі цілі. Тобто будь-яке покращення має свою ціну.

І вже в кінці ви бачите зображення на екрані. Сучасні дисплеї роблять його зручним, яскравим, деталізованим. Але важливо пам'ятати – це вже оброблена інформація, а не «сирий» сигнал.

Тому головний висновок дуже практичний: радар працює настільки добре, наскільки правильно він налаштований і наскільки правильно його читає судноводій.

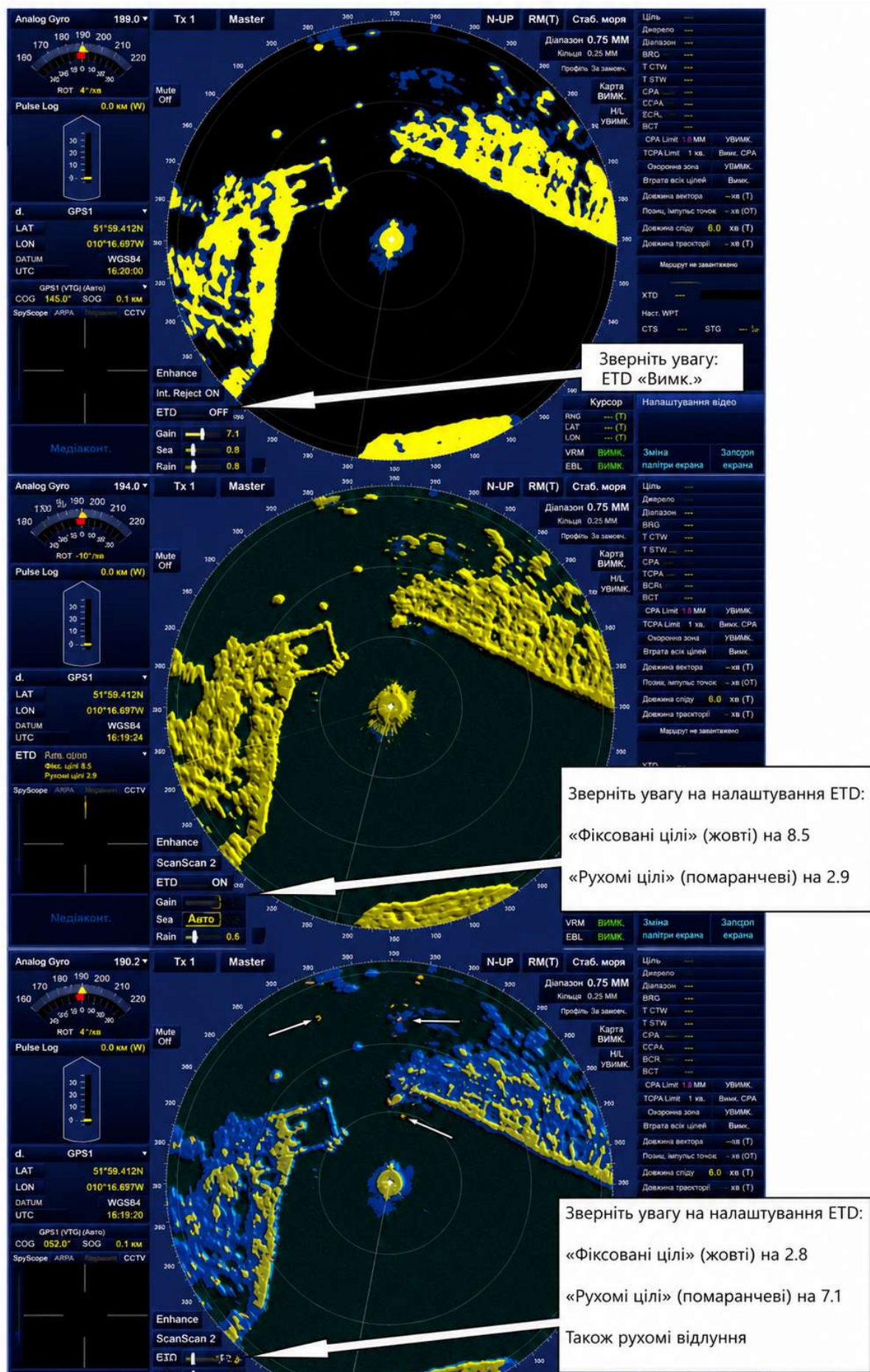


Рисунок 2.44 – Приклад покращеного виявлення цілей

РОЗДІЛ 3. РАДІОЛОКАЦІЙНА ПРОКЛАДКА ТА АВТОМАТИЗОВАНІ ЗАСОБИ ОЦІНКИ НАВІГАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ

Ефективне управління судном у сучасних умовах інтенсивного судноплавства безпосередньо пов'язане зі здатністю судноводія своєчасно та правильно оцінювати навігаційну обстановку. Одним із ключових інструментів такої оцінки є радіолокаційна інформація, яка дозволяє отримувати дані про навколишні цілі незалежно від видимості, часу доби чи метеорологічних умов.

Разом з тим радіолокаційне зображення саме по собі відображає лише поточне положення об'єктів. Для прийняття навігаційного рішення цього недостатньо. Необхідно розуміти характер руху цілей – їхні курси, швидкості, тенденції зближення та можливий розвиток ситуації в часі. Саме для цього використовується радіолокаційна прокладка, яка перетворює сукупність окремих відміток на впорядковану картину руху.

Із впровадженням автоматизованих систем значна частина обчислень виконується технічними засобами. Однак це не зменшує ролі судноводія, а навпаки – висуває додаткові вимоги до його підготовки. Необхідно не лише користуватися результатами роботи автоматизованих систем, але й розуміти принципи їх функціонування, оцінювати достовірність отриманих даних і вчасно виявляти можливі похибки.

У цьому контексті особливого значення набуває людський елемент. Саме від рівня підготовки, уважності та здатності до інтерпретації інформації залежить правильність оцінки навігаційної обстановки та відповідність прийнятих рішень вимогам МПЗЗС-72.

У розділі розглядаються як класичні методи радіолокаційної прокладки, так і сучасні автоматизовані засоби оцінки навігаційної обстановки. Особлива увага приділяється їх взаємодії, оскільки ручна прокладка залишається основою розуміння процесів, що лежать в основі роботи автоматизованих систем.

3.1. Основи відносного руху та радіолокаційної прокладки

Радіолокаційна прокладка є одним із основних інструментів аналізу навігаційної обстановки, який дозволяє оцінити характер руху цілей, визначити ступінь небезпеки їх зближення та обґрунтувати рішення щодо маневрування. Вона базується на понятті відносного руху, яке лежить в основі інтерпретації радіолокаційної інформації.

У цьому підрозділі розглядаються принципи побудови відносного руху, методи визначення курсу і швидкості цілей, а також порядок розрахунку основних параметрів зближення – найкоротшої відстані (СПА) і часу до неї (ТСРА).

Попри наявність автоматизованих систем прокладки, ручні методи залишаються важливою складовою підготовки судноводія. Вони забезпечують глибше розуміння процесів, що відбуваються на радіолокаційному індикаторі, та дозволяють перевіряти достовірність результатів автоматичної обробки

інформації. Особливо це важливо у випадках відмови технічних засобів або виникнення нестандартних ситуацій.

Формування навичок прокладки потребує систематичної підготовки. На початковому етапі вправи виконуються без обмеження часу, що дозволяє зосередитися на розумінні принципів. Надалі відпрацювання здійснюється в умовах реального часу, зокрема на тренажерах, де моделюється динамічна навігаційна обстановка.

У практичній діяльності ручна прокладка може використовуватися як засіб контролю, коли її результати порівнюються з даними автоматизованих систем. При цьому її виконання не повинно відволікати судноводія від ведення спостереження і виконання обов'язків вахти.

3.1.1. Побудова відносного руху

Побудова відносного руху становить основу всієї радіолокаційної прокладки. Власне судно (Own Ship, OS) умовно приймається за нерухому точку, розташовану в центрі індикатора або діаграми прокладки.

Лінія, проведена від центра до градуйованого кола, відповідає курсу судна і визначає напрямок його руху. У такій системі відліку будь-яка ціль відображається через свій відносний рух.

Якщо ціль є нерухомою, її зображення зміщується у напрямку, протилежному курсу власного судна, зі швидкістю, що дорівнює швидкості власного судна. Для рухомих цілей видимий рух формується як результат поєднання руху власного судна та самої цілі.

Розглянемо спочатку нерухому ціль, наприклад судно, що стоїть на місці, або буй. При послідовному нанесенні її положень через однакові проміжки часу формується траєкторія, яка фактично відображає рух власного судна.

За прийнятою умовністю перше положення позначається як «О», а останнє – як «А». Відповідна траєкторія називається лінією нульової швидкості (Zero Speed Line) і позначається як OW.

Зручно уявити, що ціль у початковий момент залишає у воді уявний буй. Лінія OW у цьому випадку відображає переміщення цього буя на діаграмі відносного руху.

Важливим елементом прокладки є вибір інтервалу часу між нанесеними положеннями. Його точність безпосередньо впливає на результати побудови. У практиці часто використовується інтервал шість хвилин, що становить одну десятю години і дозволяє безпосередньо пов'язати відстань із швидкістю.

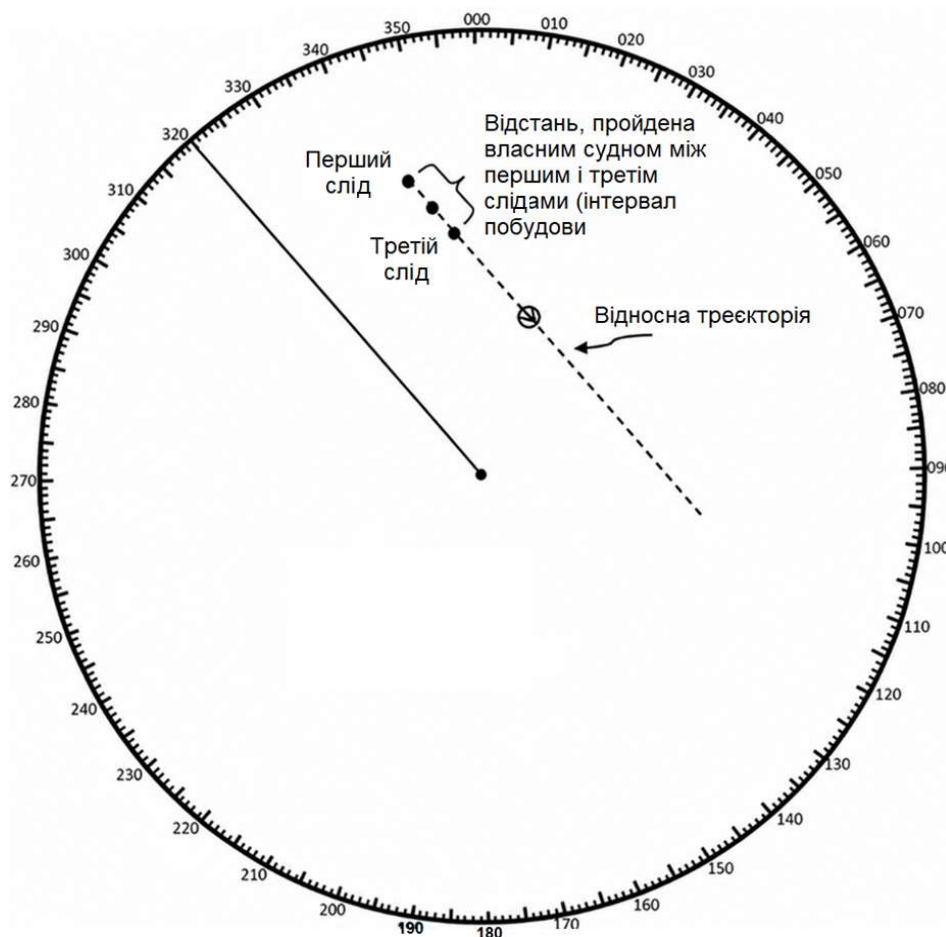


Рисунок 3.1 – Траскторія нерухомої цілі (лінія нульової швидкості OW)

Наприклад, при швидкості 15 вузлів власне судно за шість хвилин проходить 1,5 морські милі, що визначає довжину відрізка OW.

Такий підхід справедливий для нерухомих об'єктів. Якщо ж ціль рухається, до цієї картини додається її власний рух, і відносний трек набуває іншого змісту.

У цьому випадку послідовність нанесених точок відображає відносний рух цілі. Перше положення позначається як «О», останнє – як «А», після чого через ці точки проводиться лінія відносного треку.

Від точки «О» відкладається відрізок OW у напрямку, протилежному курсу власного судна. Його довжина відповідає відстані, яку судно проходить за інтервал прокладки.

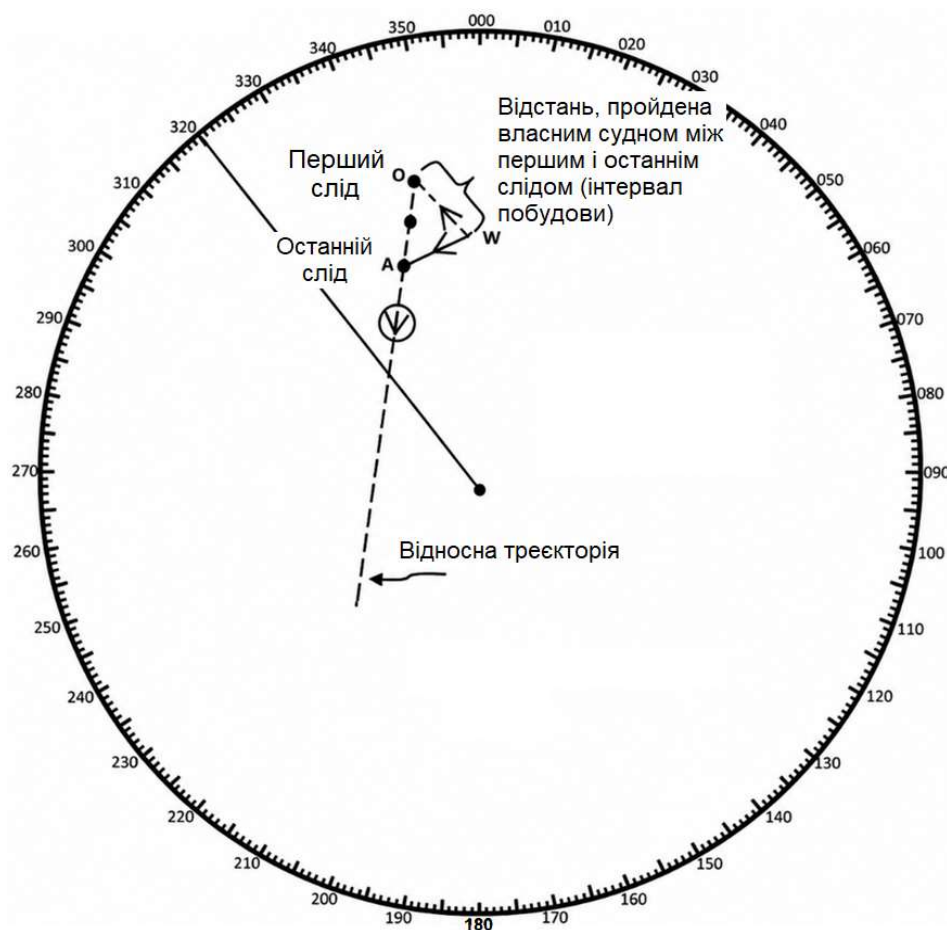


Рисунок 3.2 – Побудова відносного руху рухомої цілі

Точка «W» визначає положення, з якого починається істинний рух цілі. Відрізок WA характеризує цей рух: його напрямок відповідає курсу, а довжина – відстані, пройденій за заданий інтервал часу.

Якщо інтервал становить шість хвилин, швидкість цілі визначається множенням довжини відрізка WA на десять. Для інших інтервалів використовується відповідний перерахунок.

Після побудови відносного треку визначаються параметри зближення. Для цього від центра діаграми опускається перпендикуляр до лінії відносного руху. Точка його перетину з треком визначає положення найкоротшого зближення – СРА.

Відстань від центра до цієї точки відповідає значенню СРА. Час до неї (ТСРА) визначається за відстанню вздовж треку від поточного положення цілі з урахуванням масштабу часу.

Таким чином, радіолокаційна прокладка дозволяє отримати параметри, необхідні для оцінювання навігаційної обстановки та своєчасного прийняття рішень щодо безпеки плавання.

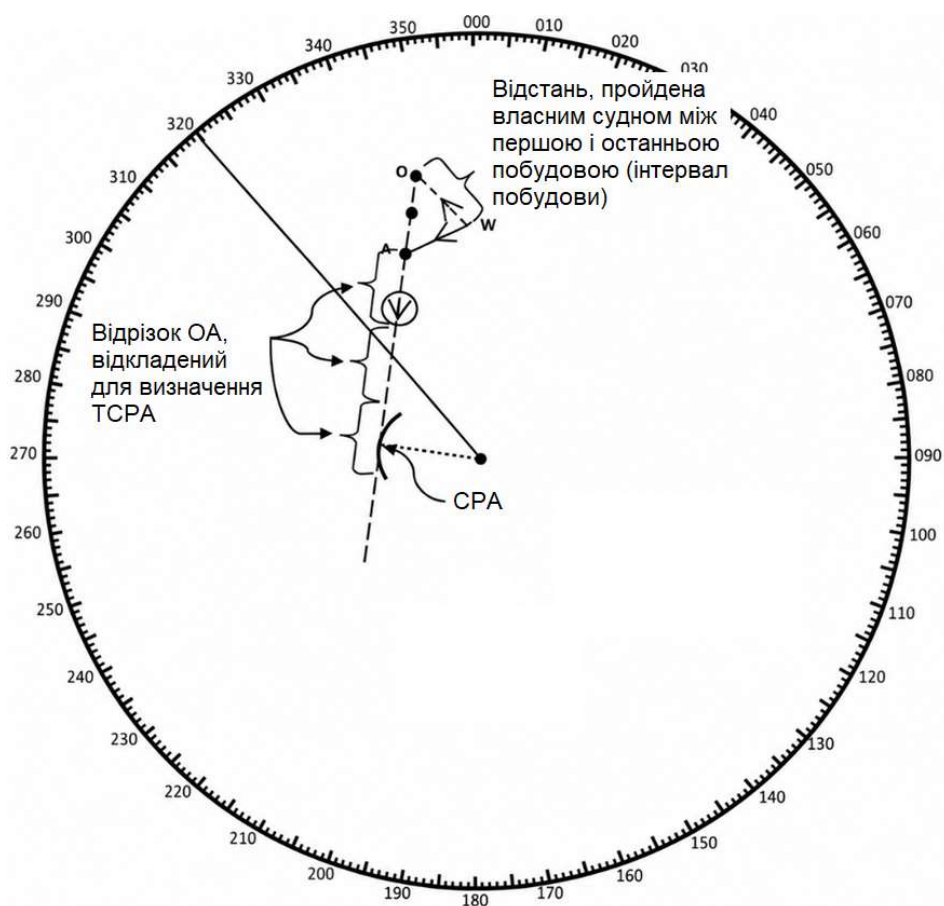


Рисунок 3.3 – Визначення CPA та TCPA за відносним треком

Після визначення курсу, швидкості, а також значень CPA і TCPA з'являється можливість оцінити ще одну важливу характеристику – аспект цілі.

Аспект визначається як відносний пеленг власного судна, який спостерігається з борту цілі. Іншими словами, він показує, під яким кутом ціль «бачить» власне судно і якою частиною свого корпусу вона звернена до нього.

Ця величина не є прямим результатом стандартної прокладки, однак може бути визначена на основі вже виконаних побудов.

Аспект визначається як кут між істинним курсом цілі (лінією WA) і напрямком на власне судно, що задається останнім вимірним пеленгом. Його значення відкладається в межах від 0° до 180° .

Для зручності оцінювання аспект поділяють на «зелений» (green) і «червоний» (red) залежно від того, з якого борту цілі спостерігається власне судно.

У військово-морській практиці ця величина відома як «кут на носі» (angle on the bow), при цьому додатково уточнюється, з якого борту – правого (starboard bow) чи лівого (port bow).

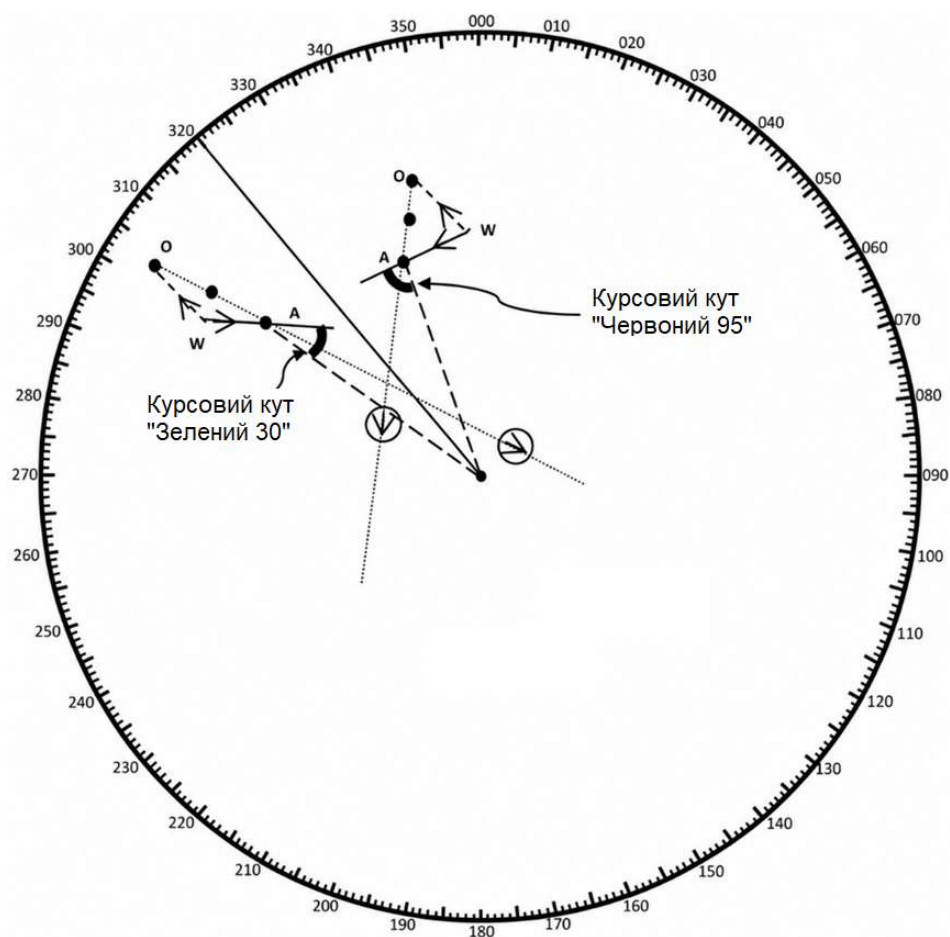


Рисунок 3.4. Визначення аспекту цілі

3.2. Методи ручної прокладки і їх обмеження

Після завершення прокладки і визначення основних параметрів руху цілей формується звіт, який використовується для доповіді про навігаційну обстановку. Така доповідь, як правило, виконується в усній формі і передається вахтовим помічником судноводію, який приймає рішення щодо маневрування.

Інформація подається у впорядкованому вигляді, що забезпечує її швидке сприйняття та однозначне трактування. Незалежно від конкретних вимог судна чи компанії, структура доповіді залишається сталою і включає позначення цілі, її поточні параметри руху, характер зміни пеленга і дистанції, а також результати прокладки – значення СРА і ТСРА, курс, швидкість і аспект.

Важливо розуміти, що вся ця інформація має ретроспективний характер. Вона описує ситуацію на момент останнього вимірювання і дозволяє зробити висновки про розвиток обстановки до цього моменту. Однак будь-яке рішення щодо маневрування повинно враховувати можливість зміни руху цілі.

Якщо ціль змінює курс або швидкість, попередні результати прокладки втрачають актуальність. Це принципове положення, яке необхідно постійно враховувати. Жодна система прокладки, включаючи автоматизовані, не здатна передбачити майбутні дії іншого судна. Тому спостереження і прокладка повинні продовжуватися доти, доки ціль не стане безпечною.

Продовження прокладки дозволяє не лише підтвердити сталість руху цілі, але й своєчасно виявити його зміну. Якщо напрямок відносного руху або його швидкість змінюються, це означає, що ціль виконала маневр. У такому випадку лише нова прокладка дозволяє точно визначити її нові параметри руху.

Ця залежність добре ілюструється на діаграмах відносного руху.

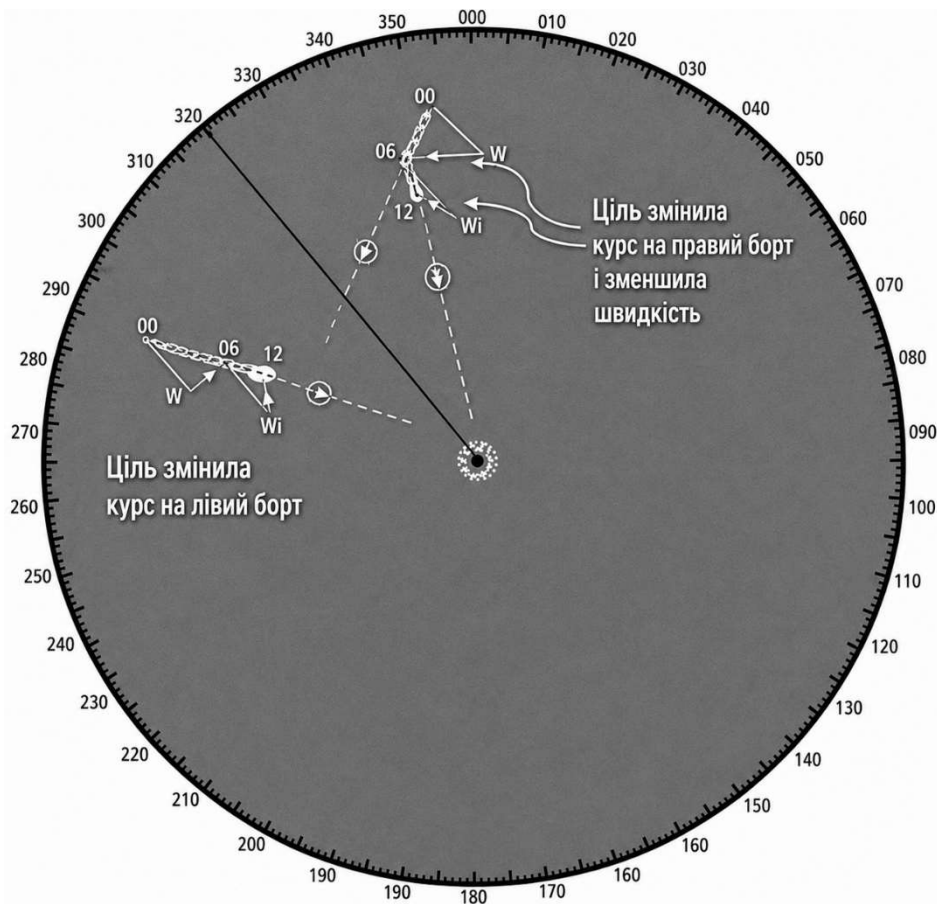


Рисунок 3.5 – Зміни відносних траєкторій як ознака маневру цілі

Якщо ціль знаходиться на правому носовому куті і змінює курс або швидкість, це зазвичай проявляється у вигляді помітного зламу або вигину її відносного треку. Така зміна легко спостерігається на індикаторі відносного руху і сигналізує про те, що ціль виконала маневр.

Водночас для цілі, розташованої з протилежного борту, зміна її руху може не супроводжуватися видимим викривленням відносного треку. У цьому випадку зовнішні ознаки маневру можуть бути відсутні, і лише побудова прокладки дозволяє встановити, що саме змінилося – курс, швидкість або обидва параметри.

Таким чином, візуальне спостереження за траєкторією не завжди є достатнім, і тільки систематична прокладка забезпечує достовірне розуміння ситуації.

Подальший аналіз відносного руху показує, що інтерпретація прокладки значною мірою залежить від геометрії зближення суден.

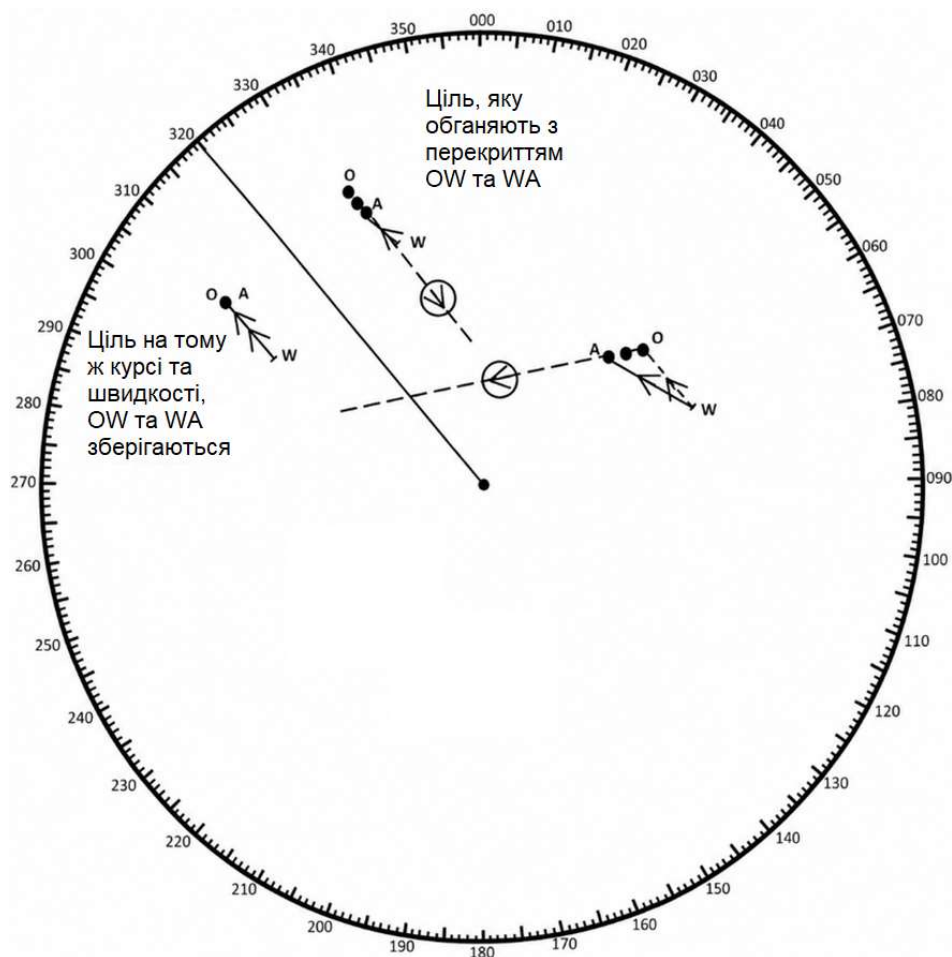


Рисунок 3.6 – Варіанти відносного руху (1)

Найбільш наочними є ситуації, коли ціль наближається під значним кутом до курсу власного судна. У таких випадках відносний рух добре читається, а параметри зближення визначаються без ускладнень.

Більш складними для інтерпретації є ситуації, коли цілі знаходяться позаду, на траверзі або рухаються з малим відносним зближенням. У цих умовах відносний трек може змінюватися незначно, що ускладнює оцінку обстановки без виконання повноцінної прокладки.

На представлених рисунках показано декілька характерних випадків: нерухома ціль, ціль, що обганяється, ціль з однаковим курсом і швидкістю, а також ціль, що рухається швидше за власне судно. Кожен із цих випадків має свої особливості відносного руху, які необхідно враховувати під час оцінювання ситуації.

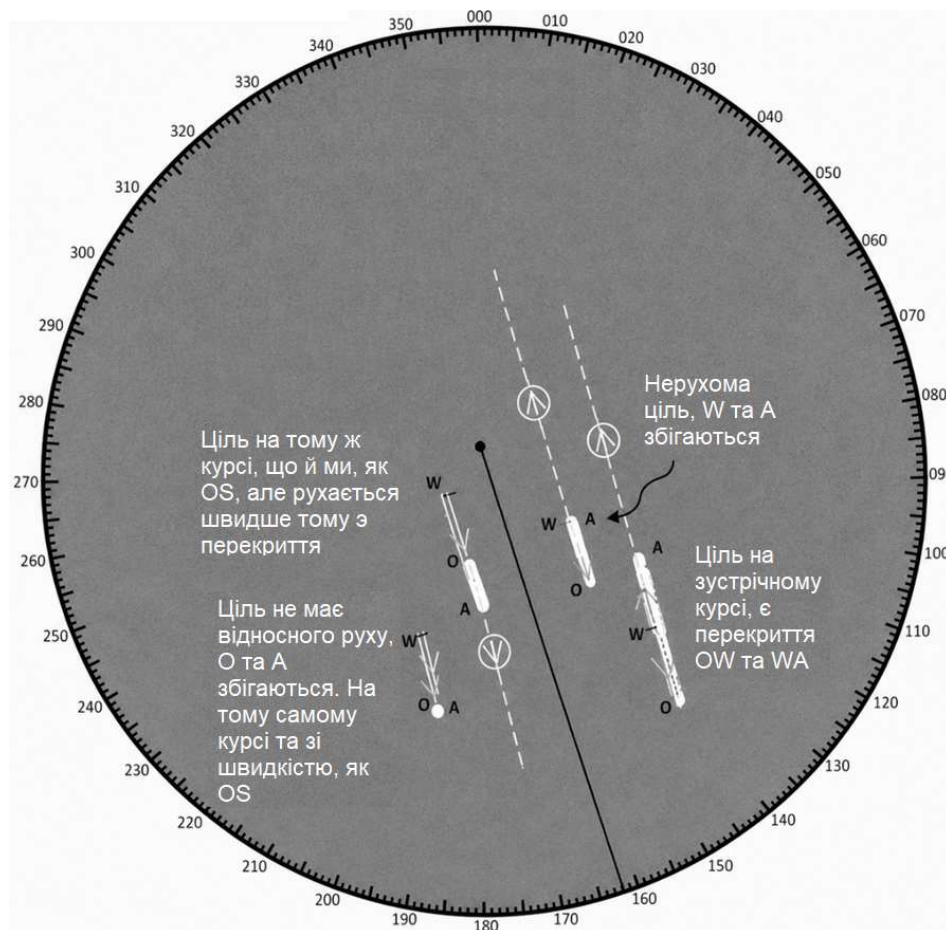


Рисунок 3.7 – Варіанти відносного руху (2)

Розглянемо приклад виконання прокладки для двох цілей. Нехай власне судно рухається курсом 200° зі швидкістю 14 вузлів. У процесі спостереження були отримані такі дані про пеленги та дистанції до цілей А і В.

Таблиця 3.1 – Дані спостережень для виконання радіолокаційної прокладки

Час	Ціль А: пеленг	Ціль А: дистанція, милі	Ціль В: пеленг	Ціль В: дистанція, милі
22:10	251°	9,0	$156,5^\circ$	10,4
22:15	254°	7,8	158°	9,3
22:20	$259,5^\circ$	6,2	161°	8,0

На основі цих даних положення цілей наносяться на діаграму прокладки. Послідовність точок дозволяє побудувати відносні треки, визначити напрямок і швидкість зближення, а також розрахувати СРА і ТСРА.

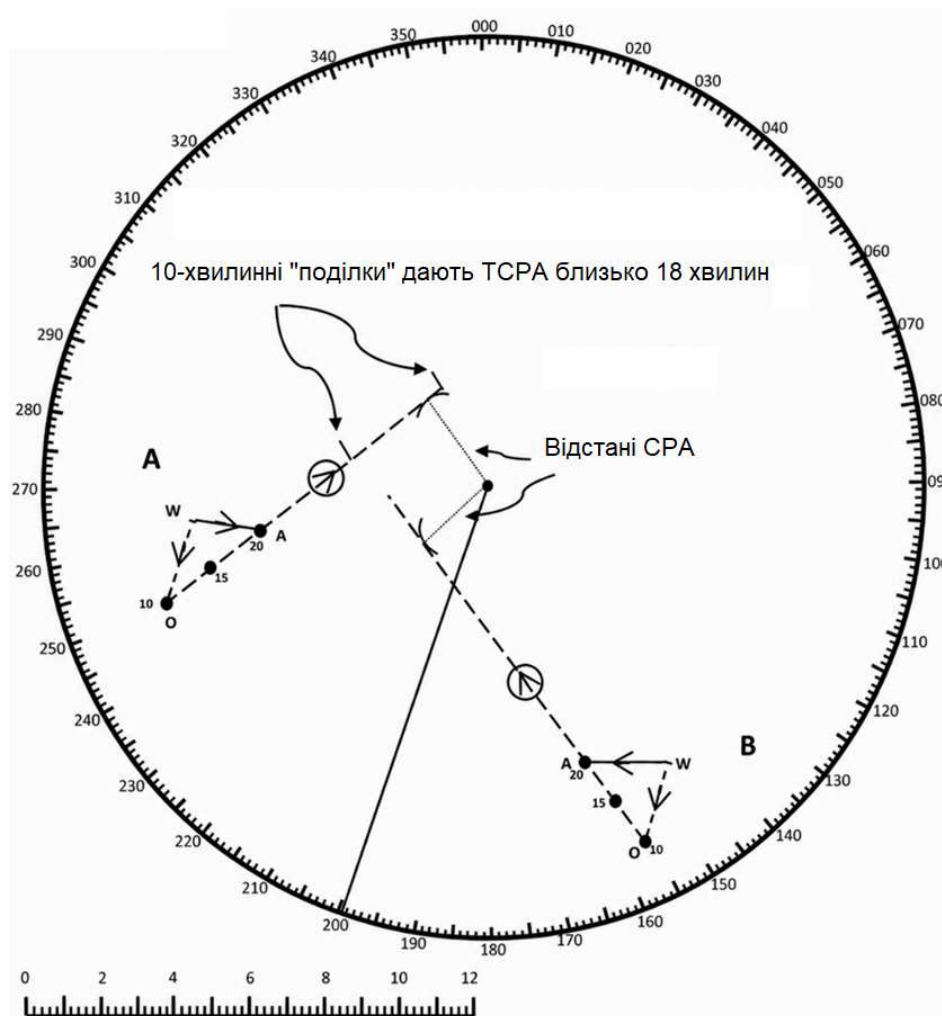


Рисунок 3.8 – Приклад радіолокаційної прокладки

За результатами побудови формується підсумкова доповідь по кожній цілі. У ній відображаються поточний пеленг і дистанція, характер їх зміни, СРА, ТСРА, курс, швидкість та аспект цілі.

Таблиця 3.2 – Результати радіолокаційної прокладки для цілей А і В

Параметр	Ціль А	Ціль В
Пеленг	259° вправо	161° вправо
Дистанція	6,2 милі, зближення	8,0 милі, зближення
СРА	2,9 милі	2,2 милі
ТСРА	18 хвилин	25 хвилин
Курс цілі	098°	271°
Швидкість цілі	12 вузлів	13,2 вузла
Аспект	червоний 30°	зелений 45°

Для цілі А спостерігається зміна пеленга вправо і зменшення дистанції, що свідчить про зближення. Значення СРА становить приблизно 2,9 милі, ТСРА – близько 18 хвилин. Отже, за наявних параметрів руху ціль пройде на відносно безпечній відстані, однак ситуація потребує подальшого контролю.

Для цілі В також спостерігається зближення. СРА становить приблизно 2,2 милі, а ТСРА – близько 25 хвилин. Незважаючи на більший час до найкоротшого зближення, менше значення СРА вимагає уважного спостереження за подальшою зміною її руху.

Такий приклад показує, що радіолокаційна прокладка дозволяє не лише визначити поточні параметри руху цілей, але й зіставити ступінь небезпеки кількох об'єктів одночасно. Це особливо важливо в умовах інтенсивного руху, коли судноводій повинен швидко визначити, яка ціль потребує першочергової уваги.

3.2.1. Прокладка у режимі «Head-Up»

Перед подальшим розглядом методів радіолокаційної прокладки доцільно звернути увагу на особливості побудови діаграм у режимі «Head-Up» (курс вгору).

У сучасних радіолокаційних станціях частіше використовується орієнтація «North-Up», коли зображення стабілізується за гірокомпасом або компасом. У такому режимі напрямок на північ завжди залишається незмінним, що спрощує узгодження радіолокаційної інформації з картами.

Разом із тим режим «Head-Up» не втрачає свого значення. У разі відмови гіроскопічної або компасної стабілізації судноводій повинен бути здатним працювати саме в цьому режимі. Крім того, використання «Head-Up» сприяє кращому розумінню ситуації відносно власного судна, оскільки зображення орієнтується за напрямком руху.

Деякі фахівці навіть віддають перевагу режимам «Head-Up» або «Course-Up» як для радіолокації, так і для електронних карт. У цьому випадку обстановка сприймається інтуїтивно: те, що знаходиться попереду судна, відображається у верхній частині індикатора; об'єкти зліва – по лівому борту, справа – по правому. На відміну від цього, у режимі «North-Up» така відповідність відсутня.

Вибір режиму орієнтації є питанням практики і звички, однак судноводій повинен впевнено працювати в будь-якому з них. Особливо це важливо в умовах відмови стабілізації, коли повертаються до базового режиму «Head-Up».

Однією з основних проблем при виконанні прокладки в режимі «Head-Up» є вплив рискання судна (yaw). Під дією хвилювання судно здійснює коливальні рухи відносно курсу, внаслідок чого його діаметральна площа постійно змінює напрямок.

Це призводить до того, що відмітки цілей на екрані зміщуються вперед і назад відносно середнього положення. У результаті пеленг цілі змінюється навіть за відсутності реального маневру з її боку.

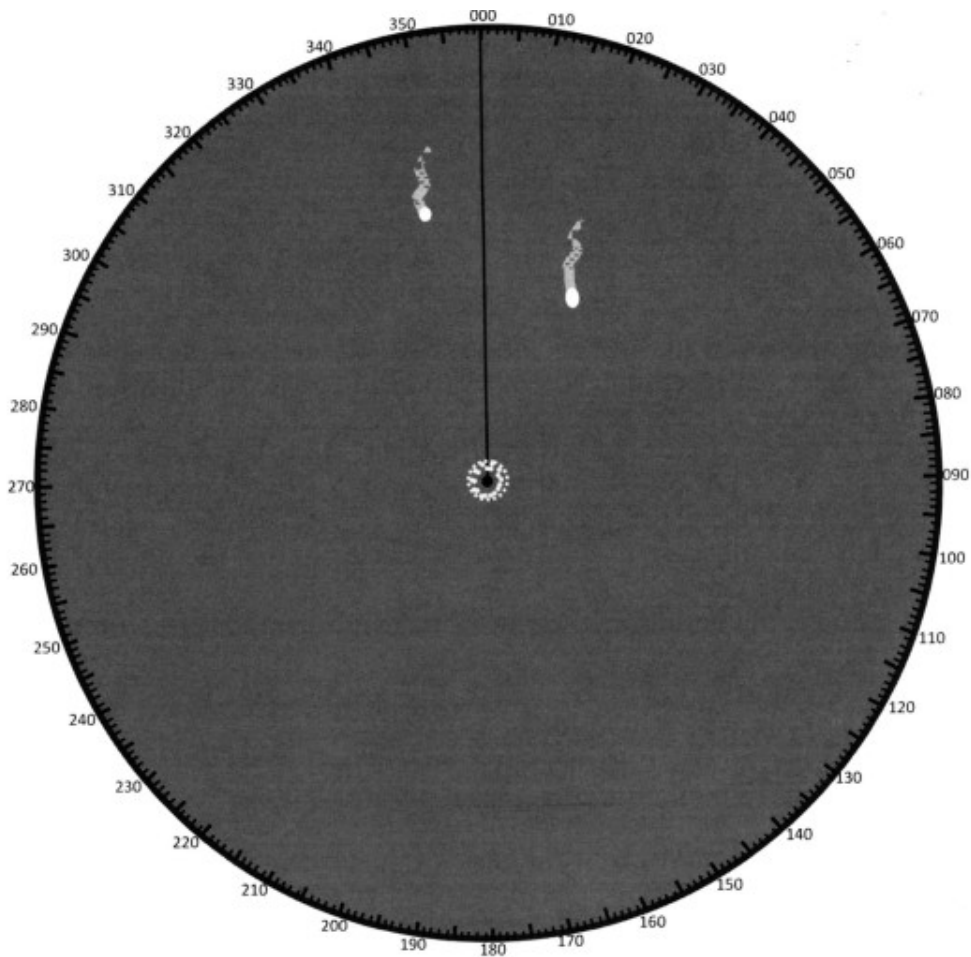


Рисунок 3.9 – Вплив рискання судна на відносне положення цілі

У таких умовах визначення пеленгів потребує особливої уважності. Вимірювання повинні виконуватися або в момент, коли курс судна точно відомий, або в положенні, близькому до середнього. Через це дотримання рівних інтервалів часу між вимірюваннями ускладнюється.

На перший погляд такі вимоги можуть здаватися надмірними, однак навіть незначні помилки у визначенні пеленга або часу вимірювання призводять до суттєвих похибок у побудові відносного треку. У результаті це може викликати неправильну оцінку ситуації.

При виконанні прокладки в режимі «Head-Up» використовується кругова шкала пеленгів, прив'язана до курсу судна. Нульове значення відповідає напрямку руху, а відлік ведеться по колу від 000° до 359°.

На відміну від традиційного поділу на «червоний» і «зелений» борти, тут застосовується повна кругова система. Наприклад, ціль, що знаходиться на лівому траверзі, буде мати пеленг близько 270°.

Маркер курсу при цьому завжди розташовується у верхній частині діаграми (000°), незалежно від фактичного курсу судна. Поточне значення курсу зазвичай записується у верхній частині прокладки.

Іноді застосовується перехід від режиму «Head-Up» до «North-Up» шляхом перерахунку пеленгів у істинні. Проте на практиці це ускладнює роботу і може призвести до помилок, тому використовується рідко.

3.2.2. Прокладка при зміні курсу судна

Додаткові труднощі виникають у випадку зміни курсу власного судна. Хоча сама діаграма залишається орієнтованою відповідно до початкового курсу, подальші вимірювання пеленгів виконуються вже відносно нового напрямку руху.

Це може призвести до помилкового сприйняття ситуації. Наприклад, якщо до зміни курсу ціль мала пеленг 350° , то після повороту судна на 30° праворуч вона буде спостерігатися приблизно на пелензі 320° . Без урахування цієї зміни може скластися враження, що ціль різко змінила напрямок руху.

Щоб уникнути помилки, необхідно привести нові виміряні пеленги до початкової орієнтації прокладки. Іншими словами, до відносного пеленга додається величина зміни курсу (або віднімається – залежно від напрямку повороту).

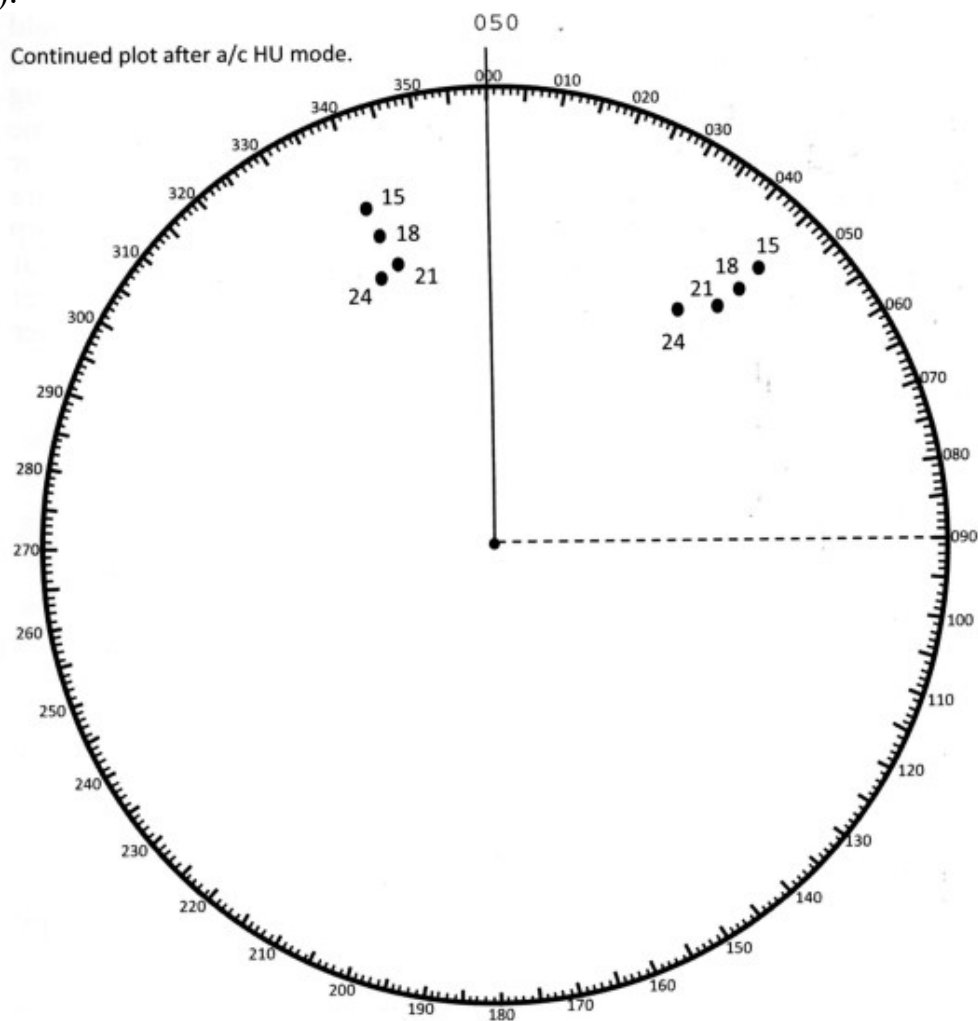


Рисунок 3.10 – Вплив зміни курсу на побудову прокладки у режимі Head-Up

Розглянемо приклад, у якому власне судно змінює курс на 90° праворуч у процесі спостереження.

Таблиця 3.3 – Дані спостережень після зміни курсу

Час	Ціль А: пеленг	Ціль А: дистанція	Ціль В: пеленг	Ціль В: дистанція
10:15	340°	9,4	045°	10,2
10:18	341°	8,7	045°	9,4
10:21	342°	8,0	045°	8,7
10:24	248°	8,0	309°	8,0

Після зміни курсу нові пеленги повинні бути приведені до початкової системи відліку, після чого прокладка може бути продовжена без порушення її логіки.

Цей приклад показує, що при роботі в режимі «Head-Up» необхідно постійно враховувати зміну курсу власного судна і коректно перераховувати всі подальші вимірювання.

3.2.3. Вплив маневрів власного судна на прокладку

Після побудови базової діаграми відносного руху вона може бути використана для оцінювання впливу маневрів власного судна на навігаційну обстановку. Інакше кажучи, прокладка дозволяє не лише аналізувати поточну ситуацію, але й прогнозувати її зміну внаслідок зміни курсу або швидкості.

Розглянемо спочатку зміну курсу.

При виконанні маневру новий курс відкладається від точки W, яка вважається центром векторної побудови. Початкова точка O повертається у напрямку нового курсу в положення O₁. Відрізок O₁A визначає новий відносний рух цілі після зміни курсу.

Це побудова ґрунтується на припущенні, що ціль продовжує рухатися з незмінними параметрами. У реальних умовах таке припущення є спрощенням, оскільки між моментом останнього вимірювання і початком маневру проходить певний час, а сам маневр супроводжується зміною швидкості. Проте для наочності ці фактори зазвичай не враховуються.

Таким чином, якщо останнє спостереження було виконане, наприклад, о 10:12, а зміна курсу відбулася о 10:15, вважається, що ціль продовжувала рух по попередній траєкторії до моменту маневру. Лише після цього будується новий відносний трек.

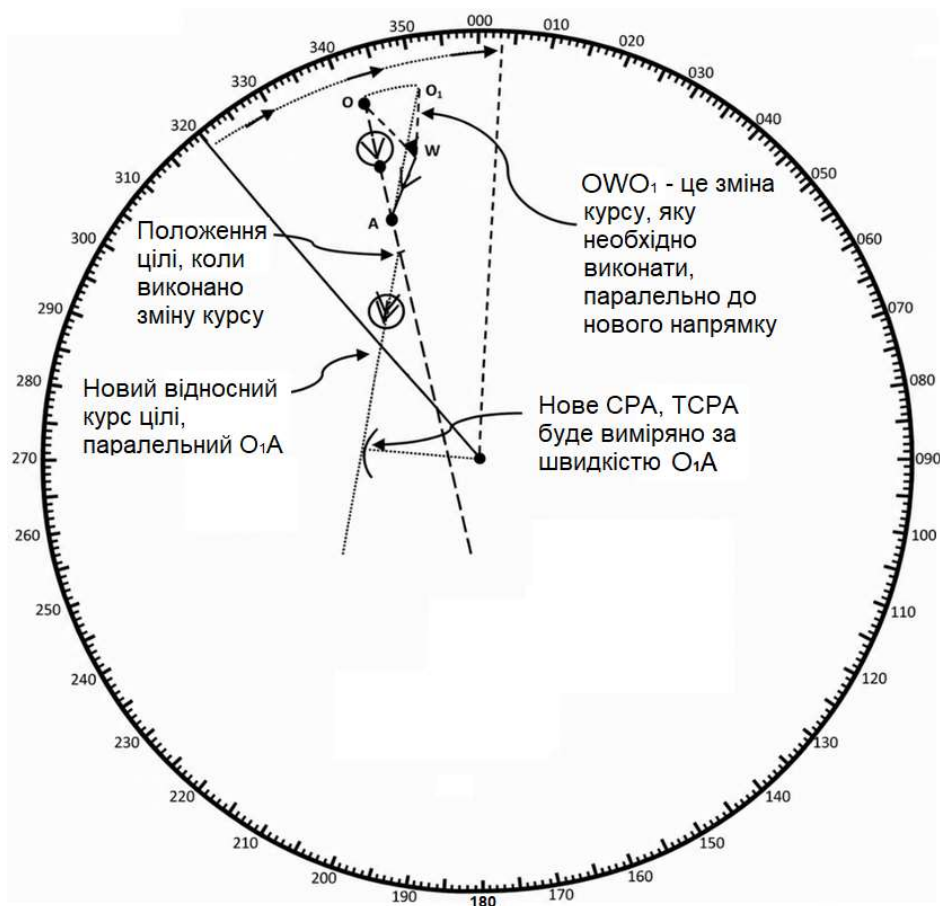


Рисунок 3.11 – Вплив зміни курсу власного судна на відносний рух цілі

Нова лінія відносного руху проводиться паралельно відрізку O_1A і відкладається від положення цілі на момент маневру. Саме за цією лінією визначаються нові значення СРА і ТСРА.

Зміна швидкості розглядається аналогічним чином. Якщо швидкість зменшується, відрізок OW скорочується відповідно до нового значення швидкості. При цьому точка W залишається незмінною, оскільки вона визначає положення цілі у момент початку побудови.

Наприклад, якщо власне судно рухалося зі швидкістю 15 вузлів, а інтервал прокладки становив 6 хвилин, довжина OW дорівнювала 1,5 милі. При зменшенні швидкості до 10 вузлів новий відрізок O_1W становитиме 1,0 милі.

Новий відносний трек цілі проводиться паралельно відрізку O_1A , починаючи з положення цілі на момент зміни швидкості.

Збільшення швидкості розглядається аналогічно, однак у цьому випадку відрізок O_1W збільшується.

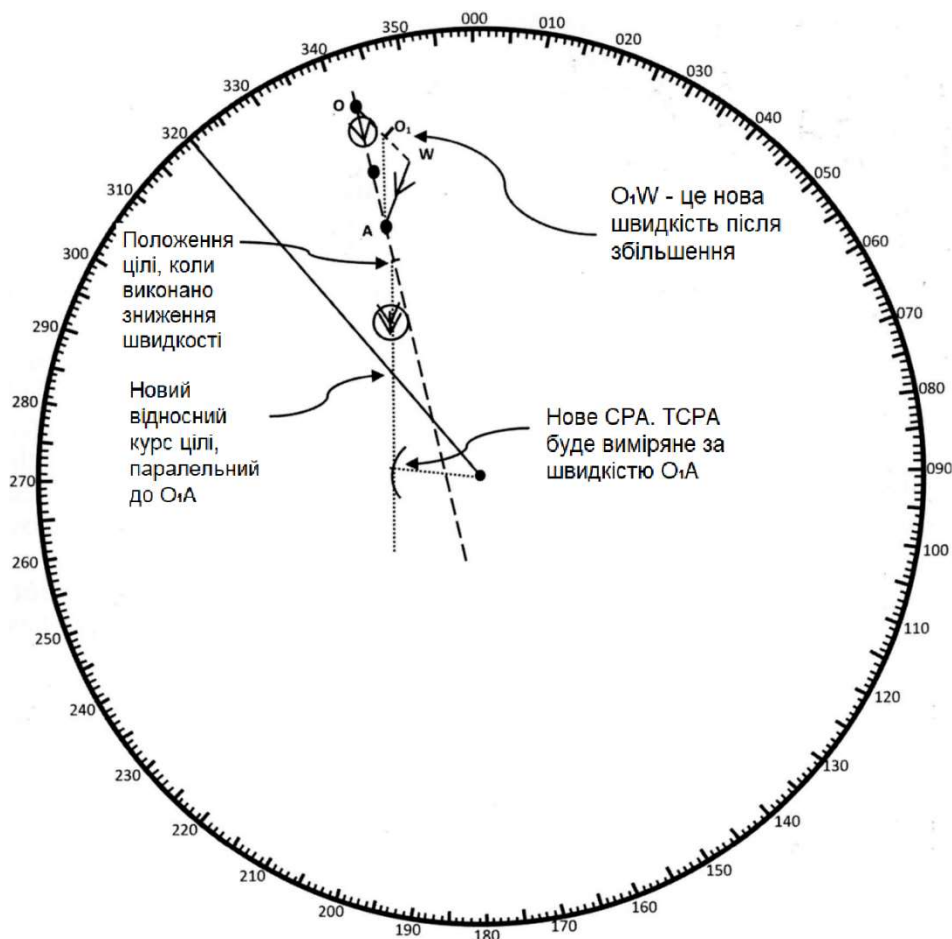


Рисунок 3.12 – Вплив зменшення швидкості власного судна на відносний рух

3.2.4. Вибір маневру для забезпечення безпечного розходження

На основі прокладки можна визначити необхідну зміну курсу або швидкості для забезпечення заданої дистанції розходження.

Для цього від точки на лінії ОА, яка відповідає положенню цілі у момент передбачуваного маневру, проводиться дотична до кола безпечної дистанції. Далі ця побудова переноситься у трикутник швидкостей через точку А і продовжується до перетину з лінією ОВ.

Отриманий відрізок О₁W визначає новий курс або швидкість, які необхідно задати, щоб забезпечити проходження цілі на безпечній відстані.

Однак слід підкреслити, що така методика має переважно навчальний характер. У реальних умовах вона не завжди придатна для безпосереднього застосування, оскільки рекомендовані зміни курсу можуть бути надто малими і не відповідати вимогам МПЗЗС щодо рішучості маневру.

Практично більш доцільним є виконання чіткої і помітної зміни курсу або швидкості з подальшим поверненням на попередній режим руху після розходження.

Розглянемо приклад, у якому власне судно рухається курсом 060° зі швидкістю 22 вузли. Ціль знаходиться на правому носовому куті.

Таблиця 3.4 – Дані спостережень

Час	Пеленг (істинний)	Дистанція (милі)
21:00	082°	11,0
21:03	082,5°	9,8
21:06	083°	8,3

Необхідно забезпечити дистанцію розходження не менше 2 миль. Для цього передбачається виконати зміну курсу на 40° праворуч о 21:09, після чого судно має повернутися на початковий курс.

Після побудови початкової прокладки визначається відносний трек цілі. Далі виконується побудова нового трикутника швидкостей для зміненого курсу, і новий відносний рух переноситься в точку, що відповідає моменту маневру.

Проводиться лінія, паралельна початковому відносному треку, яка є дотичною до кола безпечної дистанції. Точка дотику визначає момент, коли судно може повернутися на попередній курс.

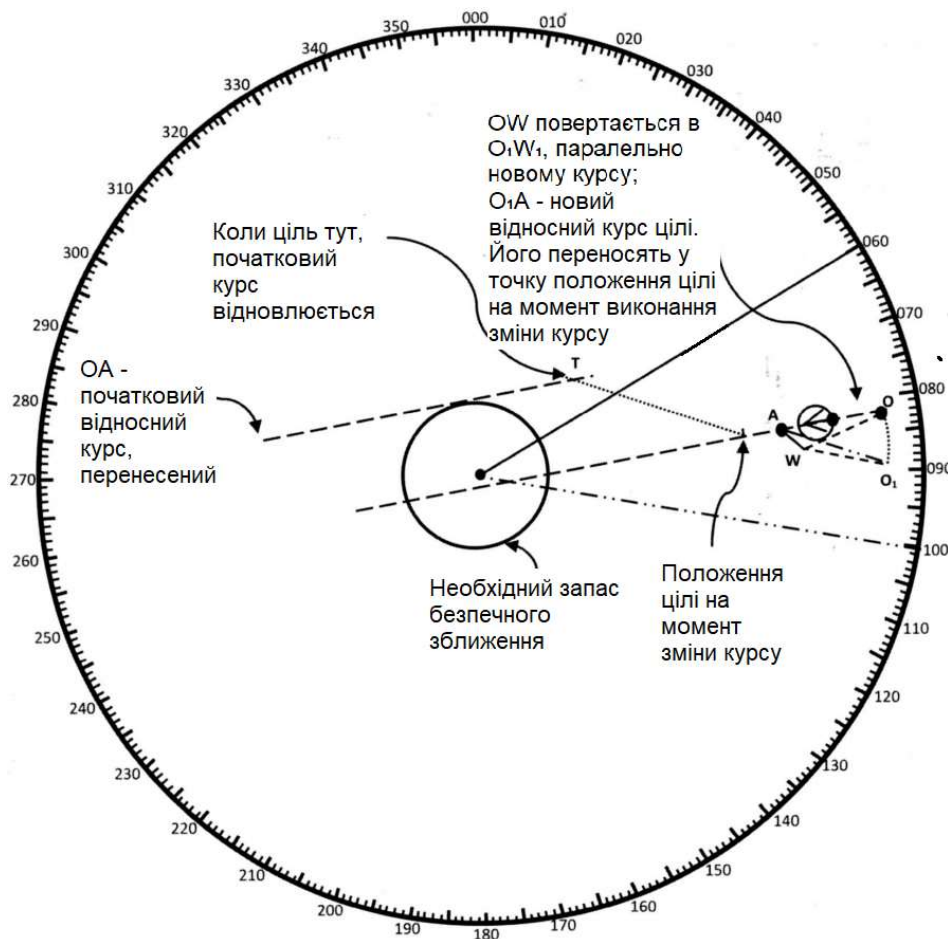


Рисунок 3.13 – Маневр із поверненням на початковий курс

У наведеному прикладі встановлено, що повернення на початковий курс можливе приблизно через 9 хвилин після виконання маневру.

На завершення слід відзначити різницю між відносним і істинним рухом, яка має принципове значення для інтерпретації радіолокаційної інформації.

У відносному русі власне судно вважається нерухомим, і всі цілі відображаються відносно нього. В істинному русі, навпаки, відображається реальний рух як власного судна, так і цілей.

Розуміння різниці між цими підходами є необхідною умовою правильного використання як ручної прокладки, так і автоматизованих систем.

Практичне відпрацювання таких задач, як на тренажерах, так і на судні, дозволяє сформувати стійкі навички роботи з радіолокаційною інформацією та впевнено застосовувати їх у реальних умовах.

3.2.5. Побудова істинного руху (True Motion)

Режим істинного руху (True Motion) використовується в радіолокаційних станціях протягом тривалого часу і широко застосовується під час практичної експлуатації. У цьому режимі відображається реальний рух як власного судна, так і навколишніх цілей, на відміну від відносного руху, де власне судно вважається нерухомим.

Істинний рух має певні переваги з точки зору наочності, однак виконання прокладки в цьому режимі суттєво відрізняється від класичної відносної прокладки і використовується значно рідше. Разом з тим розуміння принципів побудови істинного руху є важливим для правильного трактування радіолокаційної інформації.

При побудові істинного руху кожне нове положення цілі відкладається не від одного фіксованого центра, а від послідовно змінюваних положень власного судна.

Якщо для цілі отримано серію вимірювань пеленгів і дистанцій, кожне з них наноситься на діаграму з урахуванням того, що власне судно за цей час також перемістилося. Таким чином, кожна нова точка будується від нового положення судна, яке відповідає моменту вимірювання.

У результаті такої побудови формується істинний трек цілі, який безпосередньо показує її курс і швидкість. Відстань, пройдена ціллю за інтервал прокладки, дозволяє визначити її швидкість, а напрямок лінії – курс. Таким чином, відрізок WA у трикутнику швидкостей відповідає істинному руху цілі.

Для визначення параметрів зближення (CPA і TCPA) необхідно виконати додаткову побудову, аналогічну відносній прокладці. При цьому точка, що відповідає останньому положенню власного судна, розглядається як початок відліку для визначення мінімальної дистанції.

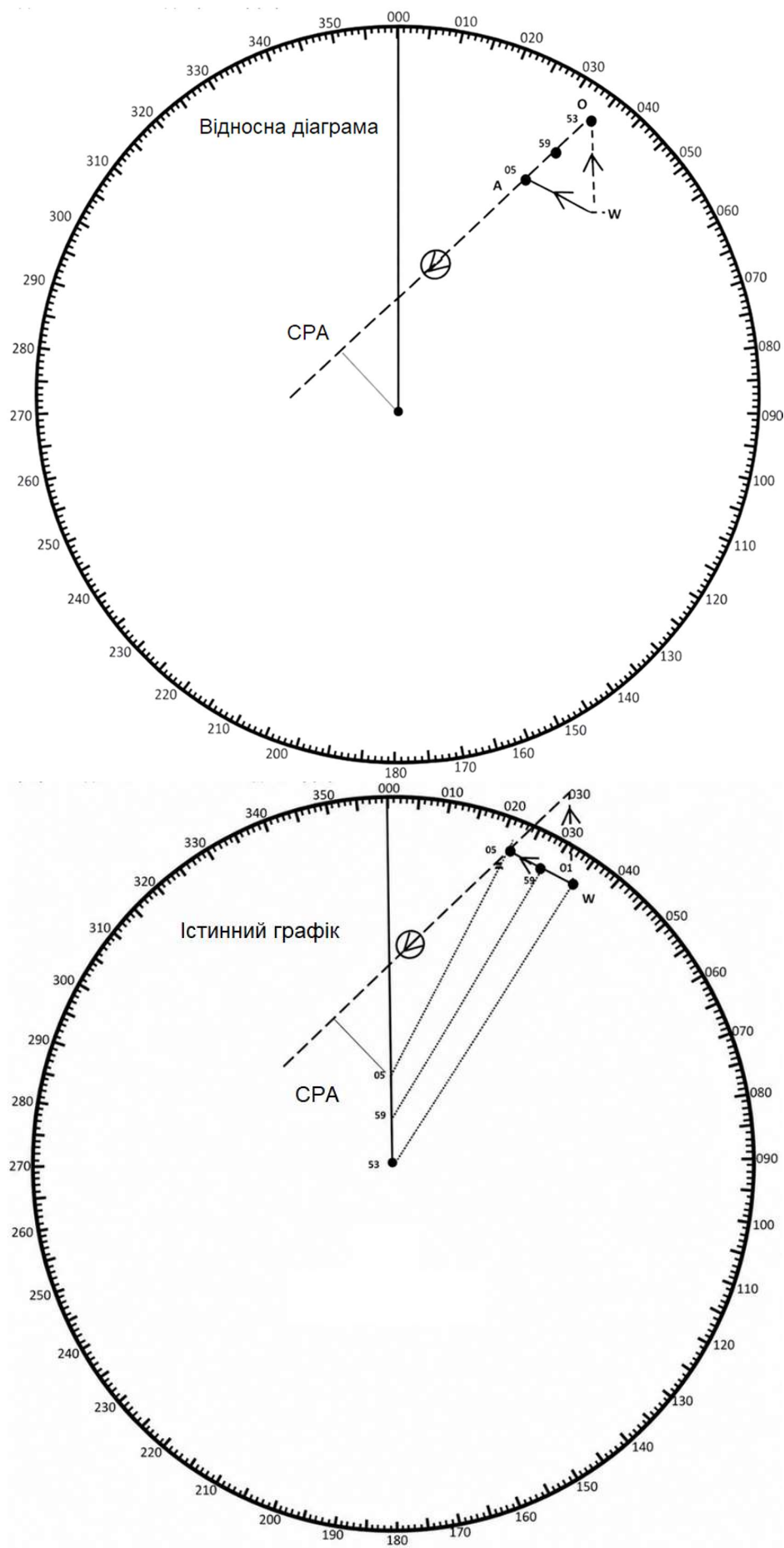


Рисунок 3.14 – Відносний та істинний рух

На рисунках показано одну й ту саму ситуацію, представлену у двох варіантах: у відносному та істинному русі. Це дозволяє наочно порівняти підходи до побудови та інтерпретації прокладки.

Хоча істинний рух дозволяє безпосередньо визначити курс і швидкість цілі, практичне використання цього методу має певні обмеження.

По-перше, побудова є більш складною, оскільки кожне нове положення повинно враховувати переміщення власного судна. Це ускладнює виконання прокладки і підвищує ймовірність помилок.

По-друге, контроль за відносним рухом цілі у цьому режимі є менш наочним. У відносній прокладці вся інформація концентрується навколо нерухомого центра, тоді як у істинному русі і власне судно, і цілі переміщуються по діаграмі.

Саме тому, попри окремі переваги, істинна прокладка використовується обмежено і не може розглядатися як основний інструмент для оцінювання навігаційної обстановки.

Водночас ці зауваження не стосуються самого режиму відображення істинного руху на радіолокаційному індикаторі, який широко застосовується в практиці судноводіння. Обмеження стосуються саме ручної побудови прокладки в цьому режимі.

Таким чином, відносна і істинна прокладки відображають одну й ту саму ситуацію, але з різних позицій. Відносний рух є більш зручним для аналізу зближення та прийняття рішень, тоді як істинний рух дає безпосереднє уявлення про фактичне переміщення суден.

Розуміння обох підходів дозволяє судноводію більш глибоко інтерпретувати радіолокаційну інформацію та впевнено працювати як із ручними методами прокладки, так і з автоматизованими системами.

3.2.6. Вплив течії та зносу (Set and drift)

Якщо під час прокладки використовується ціль, яка є географічно нерухомою (наприклад, буй або окремий навігаційний знак), то її відносний рух дозволяє виявити вплив зовнішніх факторів на рух власного судна.

У ідеальному випадку, за відсутності течії та зносу, відрізки OW і OA для такої цілі повинні збігатися, оскільки її положення не змінюється. Проте на практиці цього, як правило, не відбувається. Розбіжність між цими відрізками свідчить про те, що судно піддається впливу течії або вітрового зносу.

Величина відрізка WA у цьому випадку визначає зміщення судна за інтервал прокладки, тобто величину зносу (drift), а напрямок цього відрізка – напрямок течії (set). При цьому напрямок фактичного зносу судна буде протилежним до напрямку WA, тобто визначається вектором AW.

Розглянемо приклад.

Власне судно рухається курсом 193° (істинний) зі швидкістю 7,5 вузлів. Спостереження ведуться за нерухомою ціллю (наприклад, плавучим вогнем), для якої отримані такі дані:

Таблиця 3.5 – Дані спостережень для визначення течії

Час	Пеленг (істинний)	Дистанція (милі)
15:53	263°	9,0
16:01	267,5°	8,3
16:09	272°	7,7

На основі цих даних виконується прокладка, в результаті якої визначається відносний рух цілі.

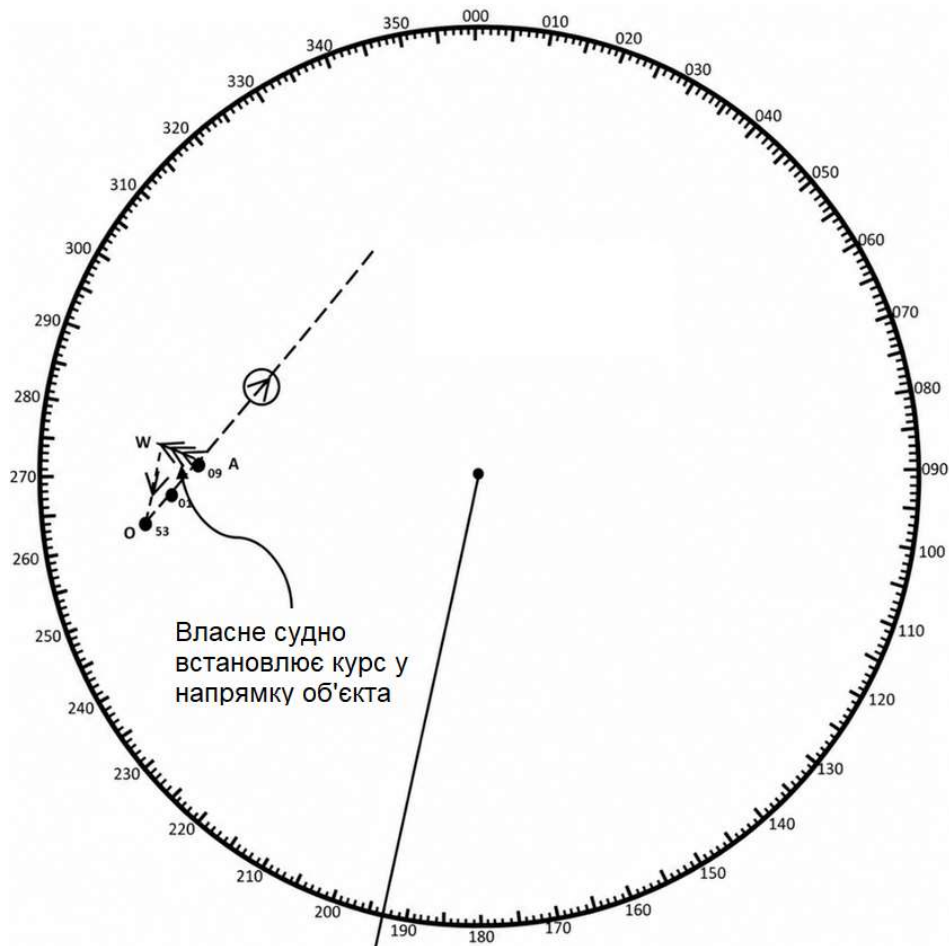


Рисунок 3.15 – Визначення зносу та течії за нерухомою ціллю

За результатами побудови встановлюється, що судно зміщується у напрямку приблизно 295°, проходячи близько 1 морської милі за 16 хвилин. Це відповідає швидкості течії приблизно 3,5 вузла.

Отримані дані можуть бути використані для вирішення зворотної задачі – визначення курсу, який необхідно задати для руху по заданому шляху над ґрунтом.

Якщо необхідно пройти певною лінією шляху, слід врахувати, що географічно нерухома ціль на відносній прокладці рухається у напрямку, протилежному руху судна. Цей напрямок відповідає лінії ОА.

Отже, щоб забезпечити заданий шлях руху, необхідно побудувати відповідний трикутник швидкостей і визначити такий курс, при якому відносний рух цілі буде відповідати потрібній траєкторії.

У даному прикладі розрахунок показує, що для забезпечення заданого розходження необхідно встановити курс приблизно 317° .

Таким чином, використання нерухомих цілей у радіолокаційній прокладці дозволяє визначати параметри течії та зносу, а також розраховувати курс, необхідний для руху по заданій траєкторії.

Це має важливе практичне значення, особливо під час плавання у районах із значними течіями, де фактичний рух судна суттєво відрізняється від заданого курсу.

3.2.7. Потенційні точки зіткнення (PCP)

Параметри CPA і TCPA дозволяють оцінити ступінь небезпеки зближення суден, однак самі по собі вони не визначають, які дії необхідно виконати для запобігання зіткненню. Для цього в практиці використовуються додаткові побудови, зокрема потенційні точки зіткнення (PCP) та області небезпеки (PAD).

Потенційні точки зіткнення (Potential Collision Points, PCP) визначають такі положення, до яких повинно рухатися власне судно, щоб перехопити ціль за умови, що вона зберігає свій курс і швидкість. Якщо одна з таких точок лежить на поточному курсі судна, це означає, що без виконання маневру можливе зіткнення.

Для визначення PCP використовується вже знайома побудова трикутника швидкостей OWA. Якщо продовжити лінію відносного руху ОА через центр діаграми, то при збереженні параметрів руху обидва судна опиняться в одній точці, що відповідає зіткненню.

На основі цієї побудови можуть бути визначені одна або дві потенційні точки перехоплення, розташовані попереду істинного вектора руху цілі.

Якщо такі точки існують і знаходяться в межах досяжності, це свідчить про можливість небезпечного зближення. Якщо ж вони відсутні або недосяжні, власне судно не може наздогнати ціль за наявних умов руху.

Побудова PCP дозволяє перейти до більш наочного уявлення небезпечної зони навколо цілі.

Якщо визначити курси, при яких власне судно прохідиме повз ціль на заданій дистанції (наприклад, 2 милі), і продовжити ці напрямки вздовж істинного руху цілі, можна отримати межі області, всередині якої проходження призведе до небезпечного зближення.

Інакше кажучи, якщо власне судно буде рухатися поза межами цих граничних курсів, воно гарантовано пройде повз ціль на безпечній дистанції. Якщо ж траєкторія руху потрапляє всередину цієї області, існує ризик порушення заданої дистанції.

Таким чином формується область небезпеки (Potential Area of Danger, PAD), яка зазвичай має вигляд витягнутої зони вздовж істинного руху цілі.

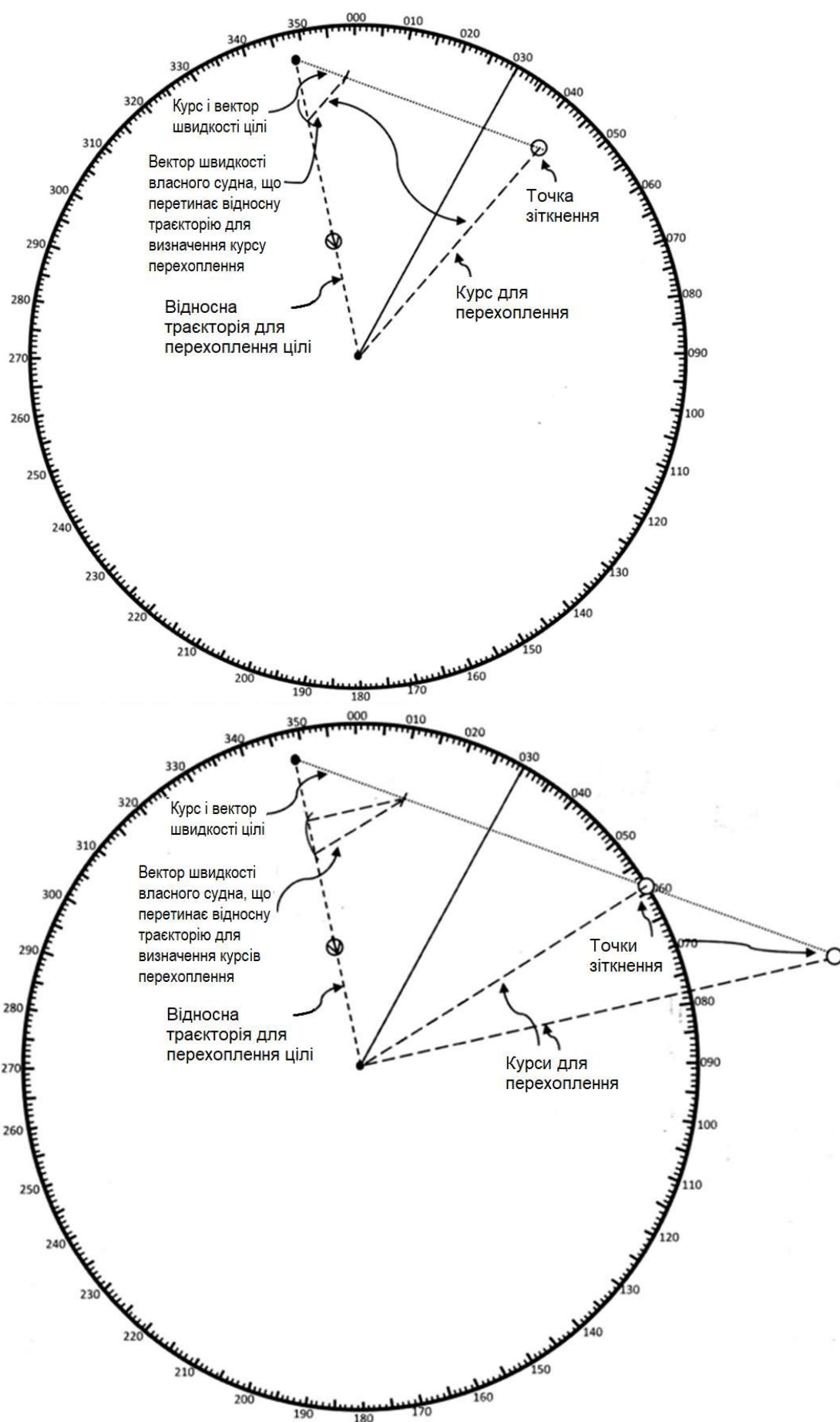


Рисунок 3.17 – Одна та дві потенційні точки зіткнення

зупинки, і величина інерційного ходу залежать від характеристик судна, його завантаження, глибини під кілем, а також гідрометеорологічних умов.

На практиці ці параметри визначаються за результатами випробувань судна, однак фактичні значення можуть суттєво відрізнятися від паспортних. Тому при виконанні розрахунків зазвичай використовуються наближені значення.

Для врахування інерційного ходу вводиться припущення, що після зупинки двигуна судно продовжує рух по попередньому курсу протягом певного часу і проходить визначену відстань.

Розглянемо приклад.

Нехай останнє спостереження виконано о 12:15, а команда на зупинку двигуна подається о 12:18. Передбачається, що після цього судно продовжує рух ще протягом 8 хвилин і проходить приблизно 3 морські милі.

Ця відстань відкладається від точки, що відповідає положенню судна в момент зупинки, уздовж лінії відносного руху. Отриманий відрізок відповідає лінії нульової швидкості під час гальмування.

Умовно можна уявити, що в момент зупинки судно «залишає» у воді точку, яка далі рухається по цій лінії, поступово сповільнюючись і зрештою зупиняючись.

Поки власне судно втрачає швидкість, ціль продовжує рух по своєму істинному курсу. Для відображення цього її положення через час, рівний часу зупинки, відкладається від точки, що відповідає положенню цілі в момент початку гальмування.

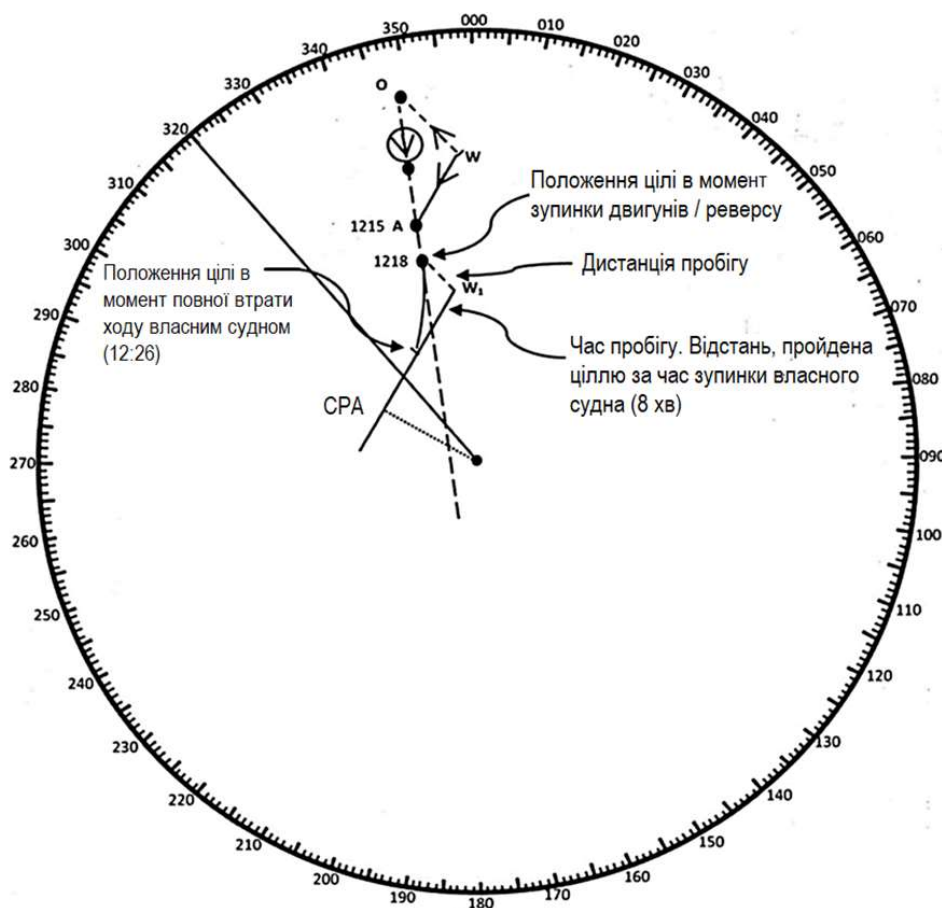


Рисунок 3.19 – Побудова інерційного ходу (headreach)

Це виконується шляхом побудови відрізка, паралельного вектору WA , довжина якого відповідає відстані, яку ціль проходить за цей час.

Після завершення інерційного руху власне судно вважається нерухомим, і подальший рух цілі відображається вже як істинний.

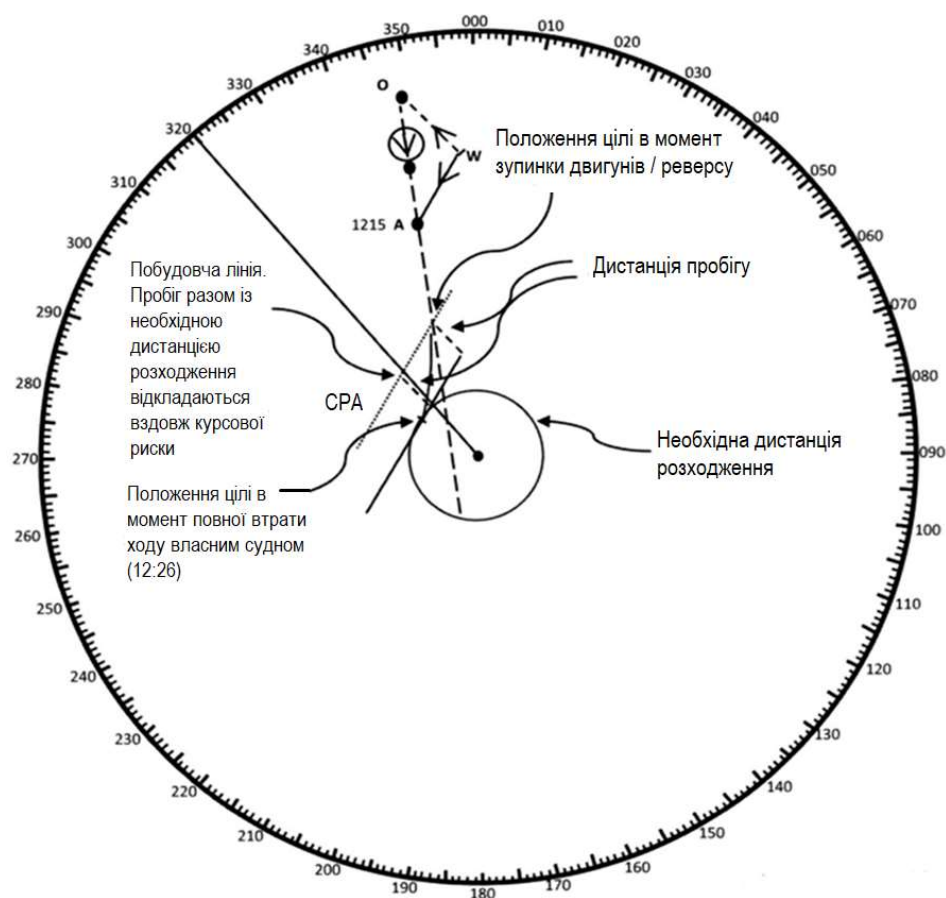


Рисунок 3.20 – Урахування інерційного ходу та часу зупинки

У практичних задачах часто необхідно визначити не лише наслідки зупинки, а й момент, коли слід подати команду на зупинку двигуна, щоб забезпечити задану дистанцію розходження.

Для цього на діаграмі відкладається коло безпечної дистанції. До нього додається інерційний хід судна, який відкладається вздовж напрямку руху.

Далі проводиться лінія, паралельна вектору WA , яка є дотичною до цього кола. Точка її перетину з продовженням відносного треку визначає момент, у який необхідно подати команду на зупинку двигуна.

Таким чином, якщо ціль досягає цієї точки, двигун повинен бути зупинений, щоб забезпечити проходження на заданій дистанції.

Урахування інерційного ходу є важливим елементом радіолокаційної прокладки, оскільки дозволяє наблизити розрахунки до реальних умов руху судна.

Це особливо актуально в умовах обмеженої акваторії або при необхідності точного маневрування, коли помилка у визначенні моменту дії може призвести до небезпечного зближення.

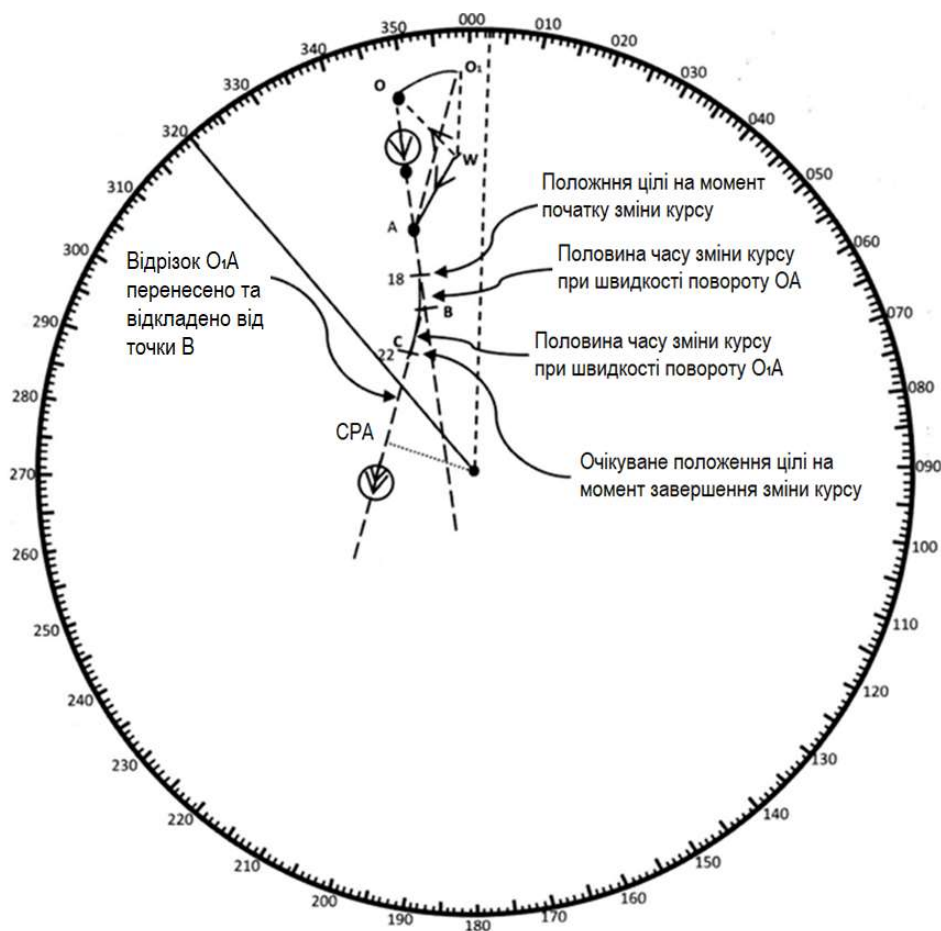


Рисунок 3.21 – Визначення моменту зупинки двигуна

Разом із тим слід пам'ятати, що всі такі побудови базуються на спрощеннях, тому їх результати повинні використовуватися з урахуванням фактичної поведінки судна та поточних умов плавання.

3.2.9. Урахування затримки при зміні курсу і швидкості

Як зазначалося раніше, зміна курсу або швидкості власного судна не відбувається миттєво. Між початком маневру і моментом, коли судно стабілізується на новому курсі або швидкості, проходить певний час.

Тривалість цього перехідного процесу залежить від маневрових характеристик судна, які можуть суттєво змінюватися залежно від умов плавання, завантаження та гідрометеорологічної обстановки. Тому при виконанні прокладки зазвичай використовуються наближені припущення.

У навчальних задачах часто приймається, що зміна курсу відбулася в один момент, а стабілізація – через кілька хвилин. Наприклад, якщо маневр розпочато о 12:18, то вважається, що судно остаточно вийшло на новий курс о 12:22.

Для врахування цього ефекту при побудові прокладки використовується спрощений підхід: частина відносного руху цілі відкладається за старими параметрами, а частина – за новими.

Зокрема, положення цілі в перехідний період визначається як середнє між її положенням, розрахованим за старим відносним треком, і положенням, отриманим за новим напрямком руху.

Іншими словами, половина інтервалу відкладається за старим відносним треком, а інша половина – за новим. Це дозволяє наближено врахувати процес переходу судна до нового режиму руху.

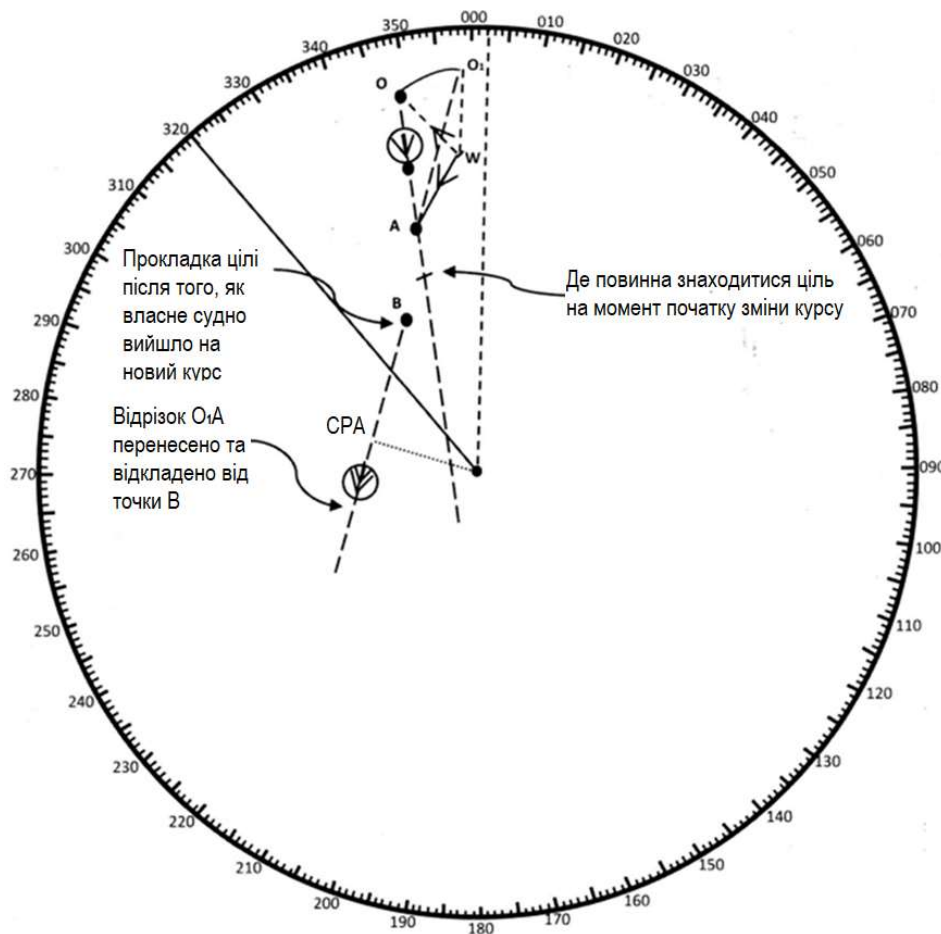


Рисунок 3.22 – Урахування затримки при зміні курсу

У результаті визначається положення цілі в момент, коли судно стабілізується на новому курсі. Після цього прокладка продовжується вже за новими параметрами руху.

У реальних умовах після зміни курсу або швидкості прокладка повинна виконуватися безперервно. Це дозволяє своєчасно виявити будь-які зміни в русі цілі та скоригувати оцінку навігаційної обстановки.

У навчальних задачах іноді задається нове положення цілі вже після виконання маневру. У таких випадках немає потреби враховувати перехідний процес, оскільки фактичні дані спостереження є більш точними, ніж будь-які наближені побудови.

Отже, якщо після зміни курсу або швидкості отримано нові вимірювання, саме вони повинні використовуватися для подальшої прокладки. Попередні оцінки в цьому випадку втрачають актуальність.

Розглянуті методи ручної радіолокаційної прокладки дозволяють аналізувати навігаційну обстановку, оцінювати ризик зближення та прогнозувати наслідки маневрів власного судна.

Особливе значення має розуміння побудови трикутника швидкостей OWA, який лежить в основі більшості розрахунків. Це знання необхідне не лише при виконанні ручної прокладки, але й для правильної інтерпретації даних автоматизованих систем.

Навіть при використанні ARPA або відображення істинного руху результати автоматичних обчислень повинні оцінюватися критично. Наприклад, невідповідність між істинними і відносними векторами може свідчити про помилки у визначенні швидкості або інших параметрів.

Практичне відпрацювання навичок прокладки дозволяє сформувати інтуїтивне розуміння розвитку ситуації та своєчасно виявляти потенційно небезпечні відхилення.

3.3. Автоматизована радіолокаційна прокладка (ARPA)

У цьому підрозділі розглядаються питання налаштування та використання функцій автоматизованої радіолокаційної прокладки. Частина цих питань певною мірою перетинається з матеріалом, присвяченим налаштуванню радіолокаційної станції, а також із застосуванням радіолокації для навігації та попередження зіткнень. Однак основна увага зосереджується на практичному використанні автоматизованих засобів прокладки та необхідності дисциплінованого підходу до їх застосування.

Сучасні радіолокаційні станції практично завжди оснащені засобами автоматичної прокладки. Водночас інколи вони сприймаються як додатковий елемент до базового відображення радіолокаційної інформації. Насправді ж у сучасних умовах це невід'ємна частина оснащення ходового містка. Відповідно до вимог ІМО, радіолокаційні станції, встановлені після 2008 року, повинні мати функції автоматизованої прокладки, що підкреслює їх ключове значення для безпеки судноплавства.

Попри те що такі системи зазвичай мають зрозумілий інтерфейс і здаються простими у використанні, вони є складними обчислювальними комплексами. Їх неправильне застосування може призвести до серйозних помилок у оцінці навігаційної обстановки. Практика показує, що автоматизовані системи не замінюють судноводія, а лише підсилюють рівень його підготовки: досвідчений оператор отримує значну перевагу, тоді як недостатня кваліфікація може призвести до небезпечних рішень.

Поява автоматизованої прокладки була зумовлена обмеженнями ручних методів. При використанні радіолокації для попередження зіткнень швидко стало очевидно, що виконання прокладки вручну має низку недоліків. Воно потребує значних витрат часу, є чутливим до помилок і суттєво ускладнюється при одночасному спостереженні за кількома цілями. Крім того, у реальних умовах неможливо змінювати режим руху судна лише для того, щоб забезпечити зручність виконання прокладки.

Протягом певного часу розроблялися різні допоміжні засоби, які мали полегшити цей процес. Серед них були спрощені індикатори ситуації, використання графічних символів і ліній, які переміщувалися по екрану, а також

пристрої, що дозволяли виконувати прокладку безпосередньо на індикаторі. Такі рішення давали змогу оцінювати відносні пеленги і виявляти ознаки зближення, однак не забезпечували повноцінного визначення параметрів руху цілей.

Жоден із цих підходів не вирішував проблему повністю, оскільки судноводію все одно доводилося виконувати повну прокладку для отримання необхідної інформації.

Ситуація принципово змінилася з появою мікропроцесорної техніки. Розвиток обчислювальних засобів дозволив автоматизувати обробку радіолокаційних даних, забезпечити їх збереження та відображення у зручній формі. Це стало основою створення сучасних систем автоматизованої прокладки.

Відповідно до вимог ІМО, основним призначенням таких систем є зменшення навантаження на спостерігача шляхом автоматичного отримання інформації про рух цілей. Це дозволяє одночасно контролювати декілька об'єктів із точністю, яка раніше була досяжна лише при ручній прокладці однієї цілі.

3.3.1. Налаштування та перевірка вхідних даних ARPA

Тут передбачається, що базове налаштування радіолокаційної станції вже виконано правильно. Подальший розгляд стосується лише тих параметрів і регулювань, які безпосередньо впливають на роботу автоматизованих функцій прокладки.

Як і для будь-якої складної технічної системи, правильна експлуатація ARPA неможлива без ознайомлення з технічною документацією. Попри те що інструкції часто сприймаються як другорядні або незручні для використання, саме в них міститься інформація про особливості конкретного обладнання, яка не може бути отримана іншим шляхом. Тому судноводій повинен знати ключові положення інструкції для свого типу радіолокаційної станції.

Хоча підрозділ присвячений налаштуванню, значна частина параметрів повинна перевірятися не лише під час первинного встановлення, але й при прийманні вахти. Це забезпечує впевненість у коректності роботи системи в конкретних умовах плавання.

Перевірка чутливості та рівня сигналу. У більшості радіолокаційних станцій робота функції супроводження цілей не залежить безпосередньо від налаштування підсилення (gain). Проте існують системи, у яких рівень сигналу впливає на роботу трекара. Якщо підсилення встановлено недостатньо, слабкі відмітки можуть не захоплюватися або втрачатися під час супроводження.

З цієї причини доцільно періодично перевіряти роботу системи на малих цілях, коли це дозволяє обстановка. Така перевірка дозволяє виявити можливі обмеження конкретного обладнання.

Вхід курсу (heading input). Одним із найважливіших параметрів для роботи ARPA є правильний вхід курсу судна. У більшості випадків цей параметр надходить автоматично від гірокомпаса, однак судноводій повинен контролювати його коректність.

Необхідно бути ознайомленим із можливістю ручного введення або коригування курсу в системі. Періодична перевірка відповідності

відображуваного курсу фактичному повинна входити до звичайної практики несення ваhti.

Вхід швидкості (speed input). Не менш важливим є точне введення швидкості судна. Саме цей параметр використовується системою для обчислення векторів руху та параметрів зближення.

Швидкість може надходити від різних джерел, і кожне з них має свої особливості. У практиці застосовуються як вимірювання швидкості відносно води, так і швидкості відносно ґрунту. Для задач попередження зіткнень зазвичай використовується швидкість відносно води, тоді як швидкість відносно ґрунту доцільна для навігаційних розрахунків.

У випадку відмови автоматичних систем передбачена можливість ручного введення швидкості, однак такий режим повинен використовуватися лише за необхідності.

Стабілізація зображення. Під час налаштування системи необхідно забезпечити стабілізацію відображення. Як правило, використовується стабілізація відносно моря (sea-stabilised), яка є основною для задач попередження зіткнень.

У разі використання даних від супутникових або інших систем позиціонування можливий режим стабілізації відносно ґрунту (ground-stabilised), однак він має обмежене застосування для оцінки небезпеки зближення.

Системи позиціонування. Сучасні радіолокаційні системи, як правило, автоматично отримують дані від систем позиціонування. Разом із тим судноводій повинен бути ознайомлений із можливістю перемикання між різними джерелами даних або їх відключення.

Це особливо важливо у випадках використання альтернативних систем, а також при виникненні збоїв або невідповідностей у даних.

Налаштування попереджень СРА і ТСРА. Під час налаштування необхідно встановити граничні значення СРА і ТСРА, при досягненні яких система формує попередження.

Конкретні значення залежать від умов плавання. У відкритому морі ці межі можуть бути більшими, тоді як у районах інтенсивного руху їх доводиться зменшувати, щоб уникнути постійного спрацювання сигналізації.

Незалежно від обраних значень судноводій повинен чітко розуміти, які саме параметри встановлені в системі, і враховувати це при оцінці обстановки.

Режими відображення векторів. У різних моделях радіолокаційних станцій передбачена можливість вибору режиму відображення векторів руху – відносних або істинних. При цьому в окремих системах вектори можуть автоматично повертатися до режиму, що відповідає обраному типу відображення (relative або true motion).

Судноводій повинен чітко розуміти, який саме режим використовується в даний момент, і як він впливає на інтерпретацію інформації.

Інтерфейс та особливості управління. Інтерфейс користувача в різних системах ARPA може суттєво відрізнятися. Одні системи мають мінімальну кількість органів керування, інші – складну структуру меню та налаштувань.

Незважаючи на ці відмінності, судноводій повинен бути впевненим у використанні всіх основних функцій, необхідних для несення вахти. Особливу увагу слід приділяти тим налаштуванням, які не використовуються щоденно, але можуть мати суттєвий вплив на роботу системи.

У деяких випадках доступ до технічних параметрів обмежений або захищений, однак їх неправильна зміна може призвести до зниження ефективності роботи радіолокаційної станції. Тому будь-які додаткові налаштування повинні виконуватися з урахуванням рекомендацій виробника.

Особливості формування розрахункових даних ARPA. Під час роботи з автоматизованою прокладкою важливо розуміти, що система не вимірює курс і швидкість цілі безпосередньо. Усі параметри руху визначаються шляхом послідовного аналізу положення цілі під час кількох обертів антени. Отримані координати накопичуються, після чого система виконує розрахунок векторів руху, CPA, TCPA та інших параметрів.

З цієї причини після первинного захоплення нової цілі система потребує певного часу для формування достовірної інформації. На початковому етапі розрахункові значення можуть бути нестійкими, а окремі параметри здатні помітно змінюватися після надходження нових вимірювань. Особливо це проявляється при маневруванні власного судна або цілі, а також за наявності завад і нестабільних радіолокаційних відміток.

Судноводій повинен враховувати, що будь-які значення CPA, TCPA, курсу чи швидкості є результатом математичної обробки попередніх вимірювань і відображають прогноз розвитку ситуації. Тому під час оцінки обстановки необхідно звертати увагу не лише на самі числові значення, але й на їх стабільність у часі. Різкі зміни параметрів можуть свідчити як про зміну характеру руху цілі, так і про недостатній обсяг даних для формування надійного прогнозу.

Розуміння цього принципу є важливою умовою правильного використання ARPA. Автоматизована система значно скорочує обсяг ручних розрахунків, однак достовірність її висновків безпосередньо залежить від якості вихідних даних та правильності їх інтерпретації оператором.

3.3.2. Основи використання ARPA для попередження зіткнень

Автоматизована система прокладки здатна самостійно виконувати супроводження цілей, визначати параметри зближення і формувати відповідні розрахунки. З технічної точки зору це значно спрощує роботу судноводія. Проте ефективність такої системи залежить не стільки від її можливостей, скільки від того, наскільки отримана інформація усвідомлюється і правильно інтерпретується.

Якщо інформація, що відображається системою, не проходить через свідомий аналіз, вона фактично не використовується. На відміну від ручної прокладки, де судноводій вимушений самостійно виконувати побудови і тим самим «пропускає» інформацію через мислення, автоматизація створює ризик формального спостереження без глибокого розуміння ситуації.

Саме тому при використанні ARPA необхідно дотримуватися певної послідовності дій, яка забезпечує не лише отримання даних, але й їх усвідомлення. У практиці для цього застосовується система так званих «шести обов'язкових дій», яка фактично є алгоритмом роботи з цілями.

Захоплення цілей і контроль обстановки. Робота системи починається із захоплення цілей. До того моменту, поки ціль не обрана для супроводження, система не виконує її аналіз. Захоплення може здійснюватися автоматично або вручну, однак у практиці доцільно приділяти увагу саме ручному вибору, оскільки це сприяє кращому усвідомленню обстановки.

При цьому існує характерна помилка – не всі цілі, що знаходяться поблизу судна, беруться на супроводження. Часто очевидні об'єкти ігноруються через припущення щодо їх безпечності. У результаті частина інформації випадає з аналізу, і можливості системи використовуються не повністю.

Інша проблема пов'язана з перевантаженням уваги. Коли супроводжується велика кількість цілей, оператор може зосередитися лише на частині з них, залишаючи без належного контролю найближчі або найбільш небезпечні об'єкти. Уникнути цього можна лише за рахунок дисципліни і системного підходу до спостереження.

Оцінка небезпеки зближення. Після захоплення цілей система формує вектори їх руху і дозволяє оцінити параметри зближення. Для цього, як правило, використовуються відносні вектори, незалежно від режиму відображення.

Збільшення часу вектора дозволяє наочно оцінити характер руху: коли продовження вектора проходить поблизу центра, це свідчить про можливе небезпечне зближення. Положення кінця вектора найближче до центра відповідає моменту найкоротшого зближення і дає уявлення про ТСРА, тоді як мінімальна відстань визначає СРА.

Після оцінки ці параметри повертаються до робочих значень часу вектора, щоб уникнути спотворення загальної картини.

Визначення аспекту. Для більш глибокого розуміння ситуації необхідно оцінити напрямок руху цілі відносно власного судна. Це досягається за допомогою істинних векторів, які показують фактичний курс цілі.

Аспект визначається як кут між напрямком на власне судно і істинним вектором руху цілі. У більшості систем це не подається у вигляді окремого параметра, тому судноводій повинен уміти визначати його візуально або за допомогою курсорних вимірювань.

Аналіз інформації про ціль. Система ARPA формує для кожної цілі набір параметрів, який включає пеленг, дистанцію, СРА, ТСРА, курс і швидкість. Ці дані відображаються у вигляді числової інформації.

Однак для правильного розуміння ситуації ці дані необхідно співставляти з графічним зображенням руху. Лише поєднання числової інформації та візуального аналізу дозволяє сформувати повне уявлення про розвиток обстановки.

Пробний маневр. Однією з важливих функцій ARPA є можливість виконання пробного маневру. Ця функція дозволяє оцінити, як зміниться ситуація при зміні курсу або швидкості.

Разом із тим вона не повинна використовуватися як засіб підказки щодо вибору дій. Судноводій повинен самостійно визначати необхідний маневр, а пробний розрахунок використовувати лише для перевірки правильності рішення.

Типовою помилкою є підбір такого курсу, при якому всі вектори розходяться без аналізу відповідності цього маневру вимогам правил. Такий підхід може призвести до формально безпечного, але неправомірного або неефективного маневру.

Аналіз траєкторії руху цілей. Для оцінки розвитку ситуації важливе значення має аналіз попереднього руху цілі. Для цього використовуються історичні відмітки, які показують її положення у попередні моменти часу.

Ці відмітки дозволяють виявити зміну курсу або швидкості. Зміна напрямку руху, як правило, добре помітна, тоді як зміна швидкості проявляється менш очевидно і потребує більш уважного аналізу.

Таким чином, використання ARPA в задачах попередження зіткнень вимагає не лише технічного вміння працювати із системою, але й чіткої організації процесу спостереження та аналізу.

Автоматизація не замінює судноводія, а змінює характер його роботи: від виконання побудов – до контролю, перевірки і інтерпретації отриманих результатів. Саме це визначає ефективність використання сучасних радіолокаційних систем у реальних умовах плавання.

3.3.3. Використання ARPA для навігації

Функції ARPA застосовуються не лише для попередження зіткнень, але й для вирішення навігаційних задач. До таких функцій належать навігаційні лінії, побудова маршрутів, використання електронних пеленгів і дистанцій, а також накладання картографічної інформації. Їх детальніше розглядають у курсах, присвячених навігації, однак для ефективної роботи з радіолокаційною станцією судноводій повинен упевнено володіти цими інструментами.

Практика показує, що освоєння цих функцій не може відкладатися до моменту складної навігаційної ситуації. Будь-які дії, пов'язані з побудовою ліній або зміною налаштувань, повинні виконуватися швидко і без зайвих роздумів. Тому робота з елементами навігаційного відображення має регулярно відпрацьовуватися в звичайних умовах.

Одними з основних інструментів залишаються електронна лінія пеленга (EBL) і змінний маркер дистанції (VRM). Вони дозволяють оперативно визначати напрямок і відстань до цілі, причому вимірювання можуть виконуватися як від центра індикатора, так і від довільно обраної точки. У деяких системах результати можуть подаватися не лише у відносних, але й у географічних координатах, за умови інтеграції з навігаційними системами. Водночас важливо враховувати, що прив'язка цих інструментів може бути як відносною, так і географічною, що безпосередньо впливає на інтерпретацію результатів.

Навігаційні лінії використовуються для відображення напрямків руху, створення орієнтирів і контролю положення судна відносно заданого курсу. Вони можуть переміщуватися і повертатися, однак у більшості випадків залишаються прив'язаними до центра індикатора. У деяких режимах передбачена можливість

їх фіксації відносно географічних координат або азимута, що потребує особливої уваги при налаштуванні.

Побудова картографічних елементів на радіолокаційному екрані використовується рідше, оскільки потребує часу і точності. Виконання таких дій у напруженій обстановці небажане через високий ризик помилок. Як правило, підготовлені елементи зберігаються заздалегідь і використовуються за необхідності. Особливу роль при цьому відіграє правильна географічна прив'язка, яка забезпечує відповідність зображення реальній обстановці.

Накладання електронної карти (chart overlay) розширює можливості аналізу, дозволяючи поєднувати радіолокаційну інформацію з картографічними даними. Проте цей режим не слід розглядати як заміну повноцінної навігаційної системи. Його основне призначення – підвищення ситуаційної обізнаності, зокрема шляхом відображення меж безпечної води та можливих обмежень для маневрування. Судноводій повинен чітко розуміти використовувану систему координат, параметри прив'язки і порядок коригування положення карти.

Окрім основних функцій, у системах ARPA передбачені додаткові налаштування, доступ до яких здійснюється через багаторівневе меню. Вони використовуються рідко, але можуть суттєво впливати на роботу системи. Тому будь-які зміни таких параметрів повинні виконуватися обережно і лише за наявності відповідних знань.

Одним із прикладів є налаштування часових фільтрів, які визначають ступінь згладжування відображення руху цілей. Збільшення часу фільтрації забезпечує стабільність індикації, але призводить до запізнення відображення змін. Зменшення цього параметра робить систему більш чутливою до змін, однак може спричинити нестабільність показників. Вибір значення повинен відповідати конкретній ситуації.

Важливим елементом роботи з радіолокаційною станцією є підтримання порядку на екрані. Надмірна кількість відображуваної інформації може ускладнити сприйняття обстановки і призвести до пропуску важливих цілей. Особливо це характерно для районів інтенсивного руху, де одночасно можуть відображатися вектори, навігаційні лінії, сліди руху та інші графічні елементи.

Щоб уникнути перевантаження, необхідно регулярно контролювати склад відображуваної інформації. Вектори, які втратили актуальність, повинні своєчасно видалятися. Їх довжина може тимчасово збільшуватися для оцінки параметрів зближення, після чого має повертатися до робочого значення. Сліди руху та історичні відмітки є важливими для аналізу, але у випадках, коли вони не потрібні, їх доцільно вимикати.

Навігаційні лінії та допоміжні елементи повинні використовуватися лише за необхідності. Те саме стосується і додаткових інструментів EBL і VRM: їх кількість і активність повинні відповідати поточній задачі.

Таким чином, ефективне використання ARPA у навігації полягає не лише у володінні окремими функціями, але й у здатності підтримувати чітку, зрозумілу і контрольовану інформаційну картину. Це безпосередньо впливає на якість оцінки навігаційної обстановки і прийняття рішень у процесі управління судном.

3.4. Супроводження цілей і прогнозування їх руху

Автоматизована прокладка не може функціонувати, доки ціль не буде захоплена для супроводження. Це може виконуватися як вручну, коли оператор вибирає відмітку на екрані і активує режим супроводження, так і автоматично – наприклад, при входженні цілі в задану контрольну зону.

У ряді систем передбачено також режим попереднього аналізу, при якому декілька відміток оцінюються за заданими критеріями, такими як відстань до власного судна або значення СРА і ТСРА. У цьому випадку система обирає для супроводження лише ті цілі, які відповідають встановленим умовам, причому пріоритет надається найбільш небезпечним.

Після захоплення цілі обчислювальна система починає обробку радіолокаційного сигналу, виділяючи характерне відбиття, яке відповідає об'єкту. На практиці це не одна точка, а сукупність сигналів, що формують так звану «матрицю відмітки». На основі цієї інформації система присвоює цілі ідентифікатор і починає її супроводження.

Для отримання надійних результатів необхідно накопичити декілька послідовних вимірювань. Лише після цього система формує вектор руху цілі, який відображається на екрані у вигляді лінії, що виходить із поточного положення відмітки і орієнтована за напрямком руху. Довжина цього вектора визначається швидкістю цілі і встановленим часом вектора.

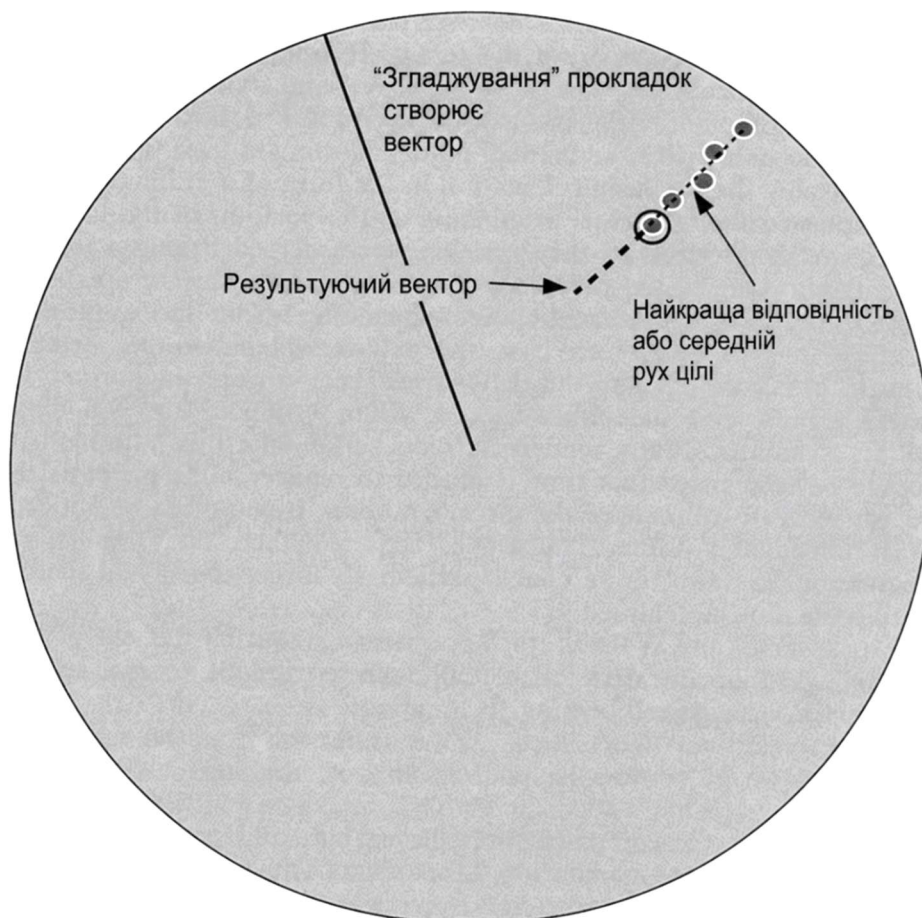


Рисунок 3.23 – Формування результуючого вектора шляхом згладжування вимірювань

Важливо розуміти, що одразу після захоплення цілі її параметри можуть бути нестабільними. Це пов'язано з тим, що система ще не накопичила достатньо даних для точного визначення курсу і швидкості. З плином часу точність оцінки зростає, і показники стабілізуються.

Паралельно з графічним відображенням формується числова інформація, яка включає курс, швидкість, дистанцію, пеленг, а також значення СРА і ТСРА.

Для того щоб відображення руху цілей було придатним для аналізу, система виконує згладжування вимірювань. Без цього будь-які випадкові похибки, а також власні рухи судна, особливо на хвилюванні, призводили б до хаотичної зміни векторів на екрані.

Фактично обчислювальна система визначає усереднену траєкторію руху цілі, використовуючи серію послідовних вимірювань. За своєю суттю це аналог того, як судноводій при ручній прокладці проводить лінію «найкращого наближення» через декілька точок.

У результаті формується вектор, який відображає середній напрямок і швидкість руху цілі. Це забезпечує стабільність індикації і полегшує аналіз ситуації.

Разом із тим така обробка має і зворотний бік. Якщо ціль змінює курс або швидкість, система спочатку сприймає це як випадкове відхилення і намагається його згладити. Лише після накопичення достатньої кількості нових вимірювань зміна руху відображається у вигляді нового вектора.

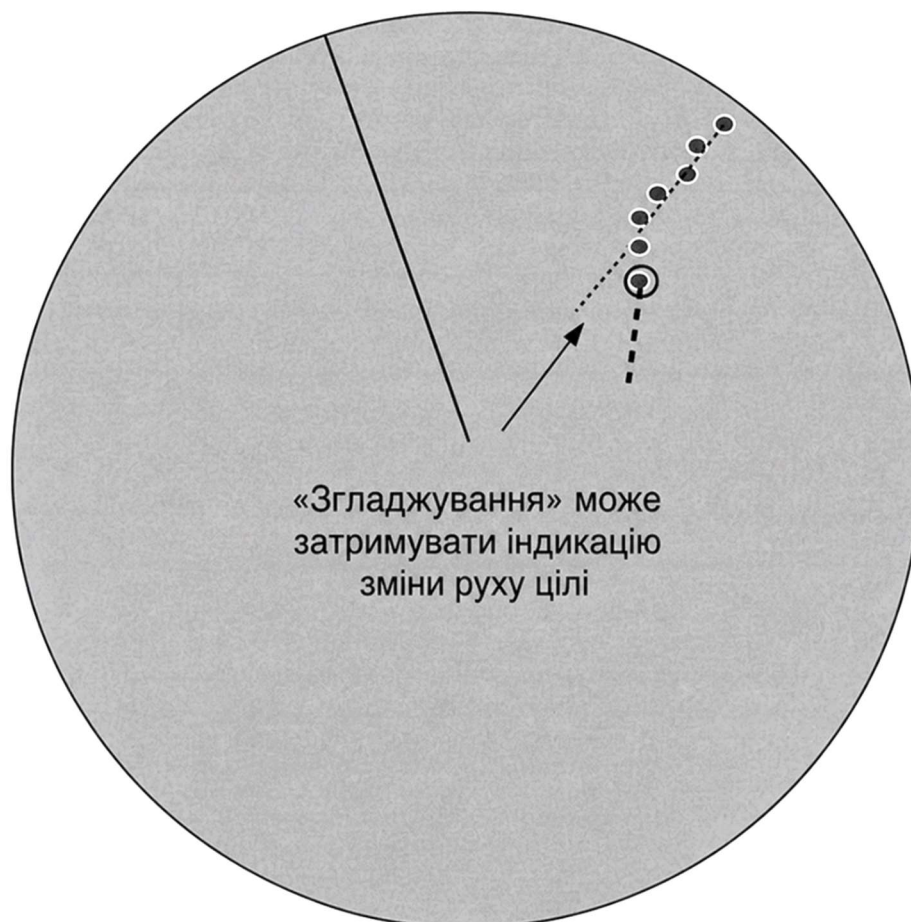


Рисунок 3.24 – Запізнення відображення зміни руху цілі внаслідок згладжування

Це означає, що будь-яка зміна параметрів руху цілі відображається із затримкою. Судноводій повинен враховувати цей ефект і розуміти, що показані дані характеризують ситуацію з певним запізненням.

У деяких системах ступінь згладжування може регулюватися. Зменшення фільтрації дозволяє швидше реагувати на зміни, але робить індикацію менш стабільною. Збільшення – навпаки, забезпечує плавність, але підвищує інерційність відображення.

Супроводження цілей і формування векторів руху створюють основу для оцінки навігаційної обстановки. Проте результати роботи системи не є миттєвими і абсолютно точними.

Необхідно враховувати час, потрібний для захоплення цілі, накопичення даних і формування стабільного вектора. Крім того, будь-які зміни руху відображаються з затримкою через процес фільтрації.

Таким чином, інформація, що подається системою, повинна розглядатися не як абсолютна, а як результат обробки даних із певними обмеженнями. Ефективне використання ARPA можливе лише за умови, що судноводій розуміє ці особливості і співставляє автоматичні дані з загальною картиною обстановки.

3.4.1. Зберігання даних та допоміжні алгоритми обробки

Однією з важливих особливостей роботи ARPA є спосіб зберігання та обробки інформації про рух цілей. Залежно від типу обладнання, дані можуть зберігатися у відносній або істинній формі, що безпосередньо впливає на характер відображення і поведінку системи під час маневрування власного судна.

У випадку відносного зберігання система фіксує безпосередньо виміряні параметри – пеленги і дистанції до цілі. На основі послідовності таких вимірювань виконується згладжування, після чого визначається відносний рух цілі, а далі – параметри істинного руху, включаючи курс і швидкість. Дані про рух власного судна накладаються на ці розрахунки, що дозволяє отримати CPA і TCPA. За своєю логікою цей підхід близький до ручної прокладки.

Перевагою такого способу є те, що результати розрахунків менш чутливі до помилок у визначенні курсу і швидкості власного судна. Однак при маневруванні виникає інша проблема: система намагається згладити зміну параметрів, викликану рухом власного судна. У результаті вектори цілей можуть тимчасово втрачати стабільність, і створюється враження, що змінюють рух усі цілі одночасно. Лише після завершення маневру і накопичення нових даних відображення стабілізується.

В істинному режимі зберігання виміряні пеленги і дистанції перетворюються у координати, пов'язані з положенням судна. Згладжування виконується вже над цими координатами, що дозволяє безпосередньо отримати істинну траєкторію руху цілі. Після цього, із урахуванням параметрів руху власного судна, визначається відносний рух і параметри зближення.

Такий підхід забезпечує стабільність відображення навіть під час маневрування власного судна, оскільки його рух не впливає на форму істинного треку цілі. Це дозволяє швидше виявляти зміни курсу або швидкості інших суден. Водночас при наявності похибок у даних про курс або швидкість власного судна

результати розрахунків можуть бути зміщеними. Проте, якщо ці похибки є сталими, визначення СРА і ТСРА, як правило, залишається достатньо надійним.

Для забезпечення стійкого супроводження цілі система використовує спеціальні алгоритми, що враховують можливі похибки вимірювань і динаміку руху.

Після захоплення цілі навколо її поточного положення формується зона пошуку – так зване «вікно супроводження». У межах цієї області система намагається знайти відбиття, яке відповідає даній цілі, і використовує його для подальших розрахунків.

З кожним новим обертом антени ця зона зміщується у напрямку прогнозованого положення цілі. Одночасно її розміри поступово зменшуються, оскільки зростає впевненість у параметрах руху.

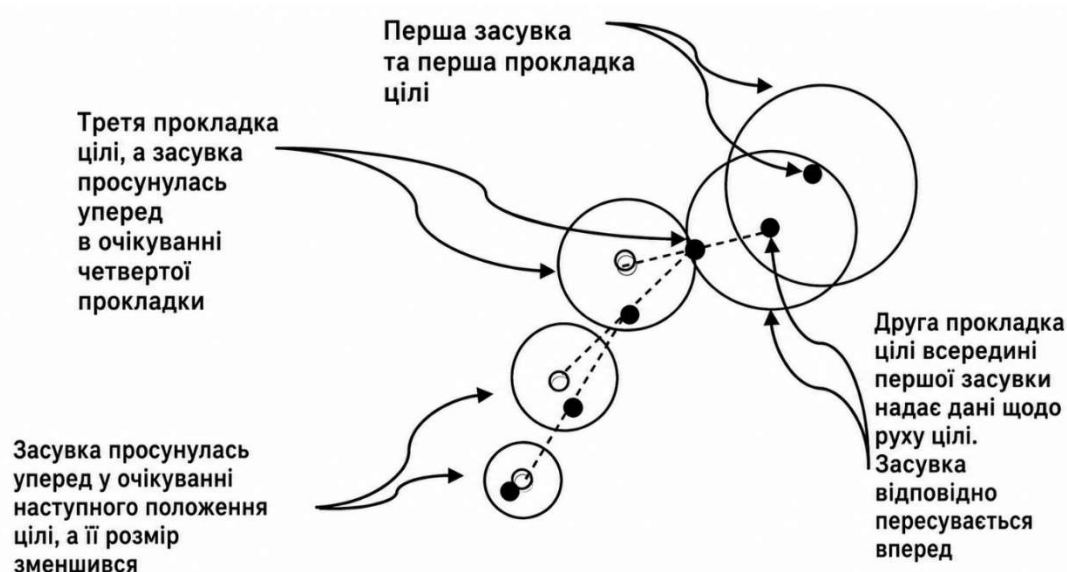


Рисунок 3.25 – Принцип роботи алгоритму супроводження (rate aiding)

У результаті фактичні положення цілі і прогнозовані значення поступово збігаються, що забезпечує стабільність відображення.

Якщо ж протягом кількох циклів сканування ціль не виявляється в межах зони супроводження, система починає розширювати область пошуку. Це дозволяє повторно захопити ціль у випадку зміни її курсу або швидкості.

У разі, коли ціль не виявляється навіть після розширення зони пошуку, система формує сигнал про втрату супроводження. Це може бути пов'язано як із реальним зникненням цілі, так і з різкою зміною її руху або появою перешкод.

Знання принципів зберігання даних і роботи алгоритмів супроводження є необхідним для правильного розуміння інформації, що відображається на екрані.

Судноводій повинен усвідомлювати, що поведінка векторів і стабільність їх відображення залежать не лише від реального руху цілей, але й від обраного режиму обробки даних. Це особливо важливо при маневруванні власного судна або при різких змінах руху інших об'єктів.

Таким чином, автоматизована система не просто відображає інформацію, а виконує складну обробку даних, результати якої повинні оцінюватися з урахуванням внутрішньої логіки її роботи.

3.4.2. Помилки супроводження та особливості відображення векторів

Однією з характерних особливостей автоматизованого супроводження є можливість виникнення помилок, пов'язаних не стільки з вимірюваннями, скільки з логікою роботи самої системи. Найбільш показовим прикладом є явище так званого «перехоплення цілі» (target swap).

Це відбувається у випадках, коли в межах зони супроводження однієї цілі з'являється інша відмітка. Система не завжди здатна однозначно визначити, яка саме з них є продовженням раніше відслідковуваної цілі. У результаті супроводження може перейти з однієї цілі на іншу, або навіть відбутися взаємна заміна векторів між двома об'єктами.

На практиці це особливо помітно під час зближення суден або при проходженні цілей на малих дистанціях. Слабка ціль може втратити свій вектор на користь сильнішого відбиття, або ж навпаки – інтенсивна ціль може «підхопити» інформацію від менш вираженої. У таких ситуаціях система формально продовжує працювати, але відображена картина вже не відповідає реальному руху.

У сучасних системах передбачені алгоритми, що зменшують імовірність такого ефекту. Якщо зони супроводження перекриваються, обробка даних може тимчасово призупинятися до моменту, коли цілі знову розділяться. Після цього супроводження відновлюється. Однак повністю усунути цю проблему неможливо, тому судноводій повинен бути готовим до її прояву і критично оцінювати поведінку векторів.

Виявлення подібних ситуацій є одним із важливих практичних завдань судноводія. Автоматизована система може формувати розрахункові параметри навіть у випадках, коли достовірність супроводження вже знизилася. У результаті зовні справна робота обладнання здатна створювати хибне враження надійності отриманих даних.

Однією з характерних ознак таких ситуацій є раптова зміна параметрів руху цілі без очевидних причин. Якщо курс, швидкість, СРА або ТСРА починають змінюватися непропорційно до спостережуваної радіолокаційної картини, це повинно розглядатися як привід для додаткової перевірки. Особливу увагу слід приділяти випадкам, коли подібні зміни збігаються з проходженням цілей на малих дистанціях, перетинанням їх траєкторій або появою нових відміток у безпосередній близькості до супроводжуваного об'єкта.

Практика використання ARPA показує, що достовірність супроводження не повинна оцінюватися лише за числовими параметрами. Не менш важливим є спостереження за поведінкою самої відмітки, характером переміщення історичних міток, стабільністю вектора та відповідністю розрахованих даних загальній картині руху. Будь-які суперечності між графічним відображенням і числовою інформацією потребують додаткового аналізу.

У складних умовах плавання доцільно періодично підтверджувати результати автоматичного супроводження за допомогою традиційних інструментів радіолокаційного спостереження. Використання електронної лінії пеленга (EBL), змінного маркера дистанції (VRM), аналізу відносного руху та історичних відміток дозволяє своєчасно виявити можливі помилки автоматичної обробки. Такий підхід особливо важливий у районах інтенсивного судноплавства, де навіть короточасна втрата достовірності супроводження може вплинути на оцінку навігаційної обстановки.

Саме тут стає важливим розуміння того, як формуються і відображаються вектори руху цілей. Вектор є основним елементом, на якому базується оцінка ситуації: він показує прогнозований напрямок і швидкість руху. Залежно від режиму індикації він може відображати або істинний рух цілі, або її рух відносно власного судна.

Довжина вектора визначається заданим інтервалом часу і фактично показує, де буде ціль через цей інтервал за умови незмінності параметрів руху. Тому зміна довжини вектора дозволяє аналізувати ситуацію на різних часових горизонтах, але водночас вимагає чіткого розуміння, який саме інтервал встановлений у системі.

Окрему увагу слід звертати на те, що в багатьох системах режим відображення векторів може автоматично змінюватися відповідно до режиму індикації. Навіть якщо оператор тимчасово перемикає вектори, через певний час система може повернути їх до початкового стану. Якщо це залишиться непоміченим, можливі помилки в інтерпретації обстановки.

Поряд із графічним відображенням важливу роль відіграє числова інформація, яка подається для цілей. Вона включає курс, швидкість, дистанцію, пеленг, а також значення CPA і TCPA. Однак сама по собі ця інформація не є достатньою – її необхідно співставляти з векторною картиною руху.



Рисунок 3.26 – Відображення векторів і параметрів цілей на екрані РЛС

У більшості систем дані відображаються лише для однієї або обмеженої кількості цілей, тому оператор повинен чітко контролювати, для якого саме об'єкта вони наведені. Для цього використовується виділення цілі курсором або іншим способом, а також додаткові позначення чи кольорове кодування.

Таким чином, навіть при наявності автоматизованих засобів обробки інформації судноводій не може покладатися лише на відображені дані. Поведінка векторів і числових параметрів повинна постійно співвідноситися з реальною обстановкою.

У підсумку слід підкреслити, що автоматизоване супроводження не усуває необхідності аналізу, а лише змінює його характер. Розуміння внутрішньої логіки роботи системи, її обмежень і можливих помилок є обов'язковою умовою безпечного використання ARPA в реальних умовах плавання.

3.4.3. Попереджувальна сигналізація та обмеження автоматизованих функцій

У процесі автоматичного супроводження цілей система формує не лише розрахункову інформацію, але й попереджувальні сигнали, які мають привернути увагу судноводія до потенційно небезпечних ситуацій або відхилень у роботі обладнання.

Одним із базових сигналів є попередження про втрату цілі. Якщо система перестає отримувати стабільний сигнал від супроводжуваного об'єкта, активується звукова та візуальна сигналізація. Зазвичай це супроводжується появою відповідного повідомлення на екрані, індикацією останнього положення цілі та миготливим символом над нею. Після підтвердження оператором звуковий сигнал вимикається, проте сама відмітка може залишатися на екрані до моменту завершення процедури зняття цілі із супроводження.

Подальший розвиток функцій попередження пов'язаний із використанням зон контролю. Вони можуть мати різну форму і задаються оператором залежно від умов плавання. У найпростішому випадку це область навколо власного судна, при входженні в яку будь-якої цілі формується сигнал тривоги. Приклад такої зони показано на рисунку 3.27.

В інших реалізаціях використовуються секторні зони. Оператор задає їхню дальність, кутовий сектор і, за потреби, внутрішню та зовнішню межі. Такий варіант дозволяє контролювати не весь простір навколо судна, а лише найбільш важливий напрямок, наприклад попереду за курсом або в районі очікуваного зближення. Такий принцип показано на рисунку 3.28.

Ще один варіант побудови зон контролю передбачає використання двох кілець на різних дистанціях. У цьому випадку можуть застосовуватися лінії виключення, за межами яких цілі не захоплюються зоною контролю. Приклад такого відображення наведено на рисунку 3.29.

При входженні цілі в зону контролю система формує звуковий сигнал, виводить відповідне повідомлення на екран і позначає ціль спеціальним символом. Якщо ціль до цього не перебувала на супроводженні, система може автоматично захопити її, після чого з'являється вектор руху.

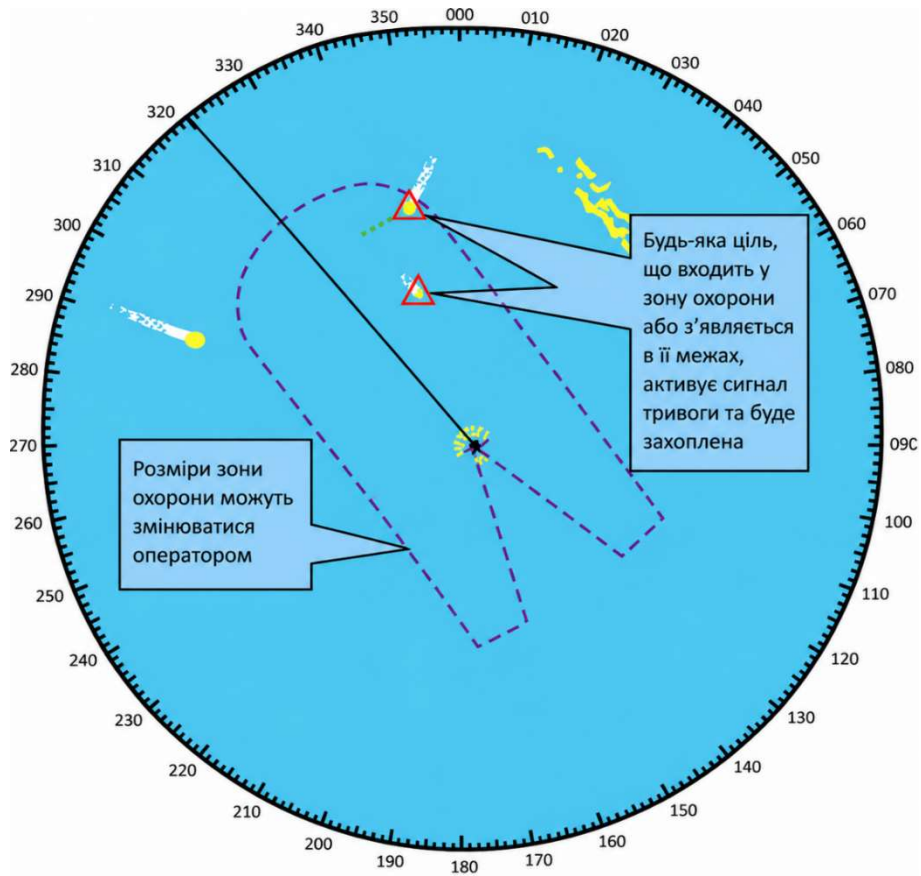


Рисунок 3.27 – Зона контролю у вигляді області навколо власного судна

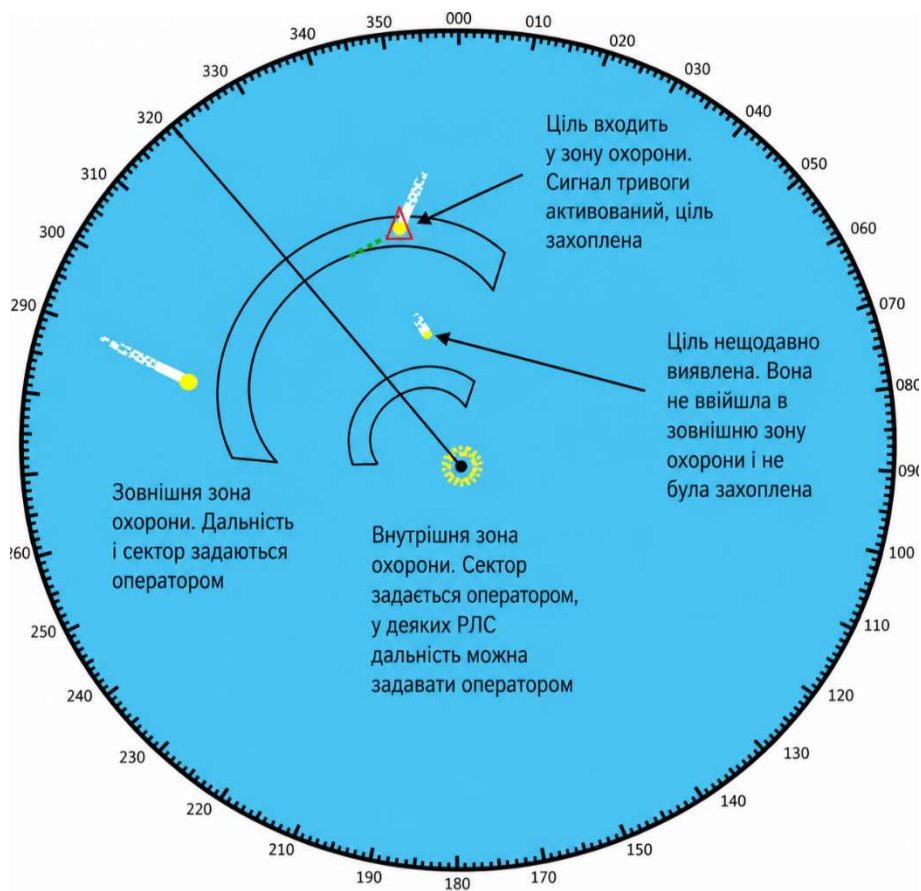


Рисунок 3.28 – Секторні зони контролю

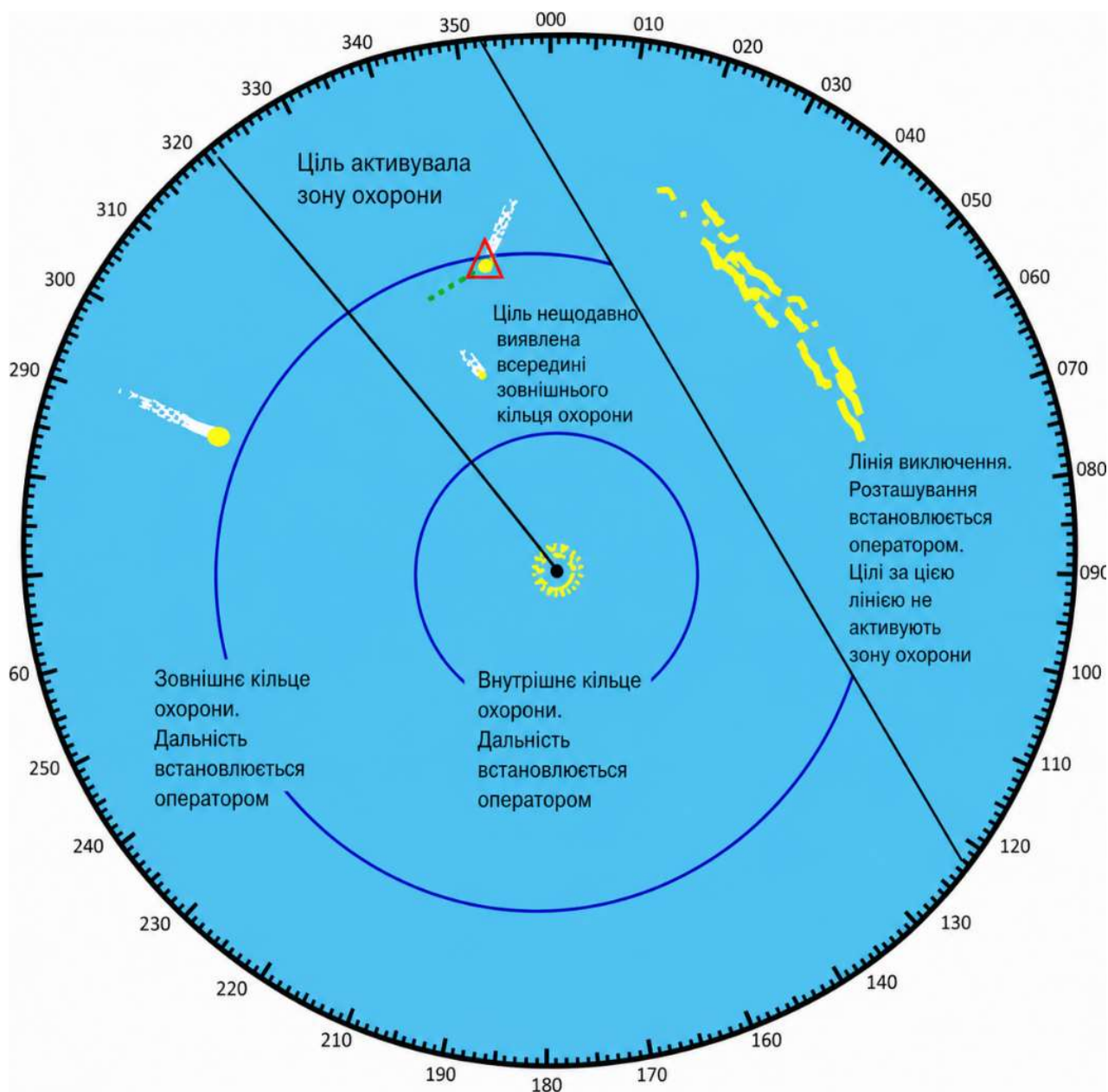


Рисунок 3.29 – Кільцеві зони контролю та лінія виключення

У практичному використанні такі зони мають обмеження. У районах інтенсивного руху або при значному рівні завад, зокрема від дощу, хвилювання чи берегових відбиттів, кількість помилкових спрацьовувань різко зростає. У результаті сигналізація може перетворюватися на фактор відволікання, що знижує ефективність вахти. Тому зони контролю не слід розглядати як основний засіб виявлення небезпеки.

Схожим чином працюють попередження, пов'язані з досягненням заданих значень СРА і ТСРА. Якщо супроводжувана ціль прогнозовано наближається на дистанцію меншу за встановлену або протягом заданого часу, система формує сигнал тривоги. Це дозволяє завчасно звернути увагу на потенційно небезпечну ситуацію. Однак ця функція працює лише для захоплених цілей. Якщо об'єкт не супроводжується системою, попередження за СРА і ТСРА не спрацює.

Ще одним важливим інструментом є функція пробного маневрування. Вона дозволяє змодельовати зміну курсу або швидкості власного судна і оцінити, як це

вплине на параметри зближення з цілями. У сучасних системах така функція забезпечує відображення прогнозованих положень цілей і відповідних векторів у майбутньому моменті часу. При цьому можуть формуватися додаткові сигнали, якщо обраний маневр не забезпечує безпечного розходження.

Важливо підкреслити, що використання пробного маневру не повинно переривати процес супроводження цілей. Після завершення аналізу система повертається до поточного режиму роботи, і оновлення інформації продовжується без втрати даних.

Окрім функцій, пов'язаних із цілями, система також контролює стан власних датчиків і вхідних даних. Помилки в роботі гірокомпаса, лага або систем позиціонування можуть призвести до суттєвих викривлень розрахункової інформації. Особливо небезпечними є ситуації, коли система продовжує працювати, але використовує некоректні дані. Наприклад, повільне зміщення показань гірокомпаса може бути сприйняте системою як зміна курсу цілі або як зміна загальної картини руху.

Таким чином, попереджувальна сигналізація є важливим елементом ARPA, але її ефективність залежить від правильного розуміння можливостей і обмежень системи. Вона не замінює спостереження та аналізу обстановки, а лише доповнює їх.

Завершуючи розгляд автоматизованого супроводження, слід підкреслити, що навіть найбільш сучасні системи не усувають ролі судноводія у прийнятті рішень. Вони лише змінюють характер цієї роботи, переносячи акцент із побудови прокладки на інтерпретацію отриманої інформації та контроль її достовірності.

3.5. Похибки радіолокаційної та ARPA-інформації

У процесі радіолокаційного спостереження судноводій отримує значний обсяг інформації про навігаційну обстановку. Водночас важливо розуміти, що будь-які вимірювання мають обмежену точність, яка визначається як фізичними параметрами роботи радіолокаційної станції, так і особливостями обробки сигналів.

Навіть у випадку, коли система працює коректно і всі налаштування виконані правильно, отримані значення не є абсолютно точними. Наприклад, відображення СРА може подаватися з точністю до десятих часток милі, однак це не означає, що фактичне значення має таку ж точність. Розрахунок виконується на основі вихідних даних, які самі по собі містять похибки.

У подальшому розгляді увага зосереджується не на помилках експлуатації або відмовах обладнання, а на внутрішніх обмеженнях точності, притаманних самому принципу радіолокації.

Першим фактором, який визначає точність вимірювань, є тривалість імпульсу. Саме вона встановлює мінімальний розмір об'єкта, який може бути відображений як окрема ціль. Будь-який об'єкт, що відбиває сигнал, не може сформувати відмітку меншого розміру, ніж довжина радіолокаційного імпульсу.



Рисунок 3.30 – Вплив тривалості імпульсу на формування відмітки цілі

Тривалість імпульсу визначається режимом роботи передавача, який, у свою чергу, залежить від обраного діапазону спостереження. Зі збільшенням дальності імпульс подовжується, що призводить до зростання розмірів відмітки. Крім того, ширина променя антени також впливає на розмір зони, в межах якої формується відбитий сигнал, і збільшується зі зростанням відстані до цілі.

У результаті навіть теоретично точкова ціль на певній дистанції відображається як область, розміри якої можуть бути досить значними. Це безпосередньо впливає на точність визначення як дистанції, так і пеленга.

Цей ефект проявляється і при побудові відносного руху. Через те, що фактичне положення цілі визначається не як точка, а як деяка область, можливі відхилення у визначенні траєкторії.

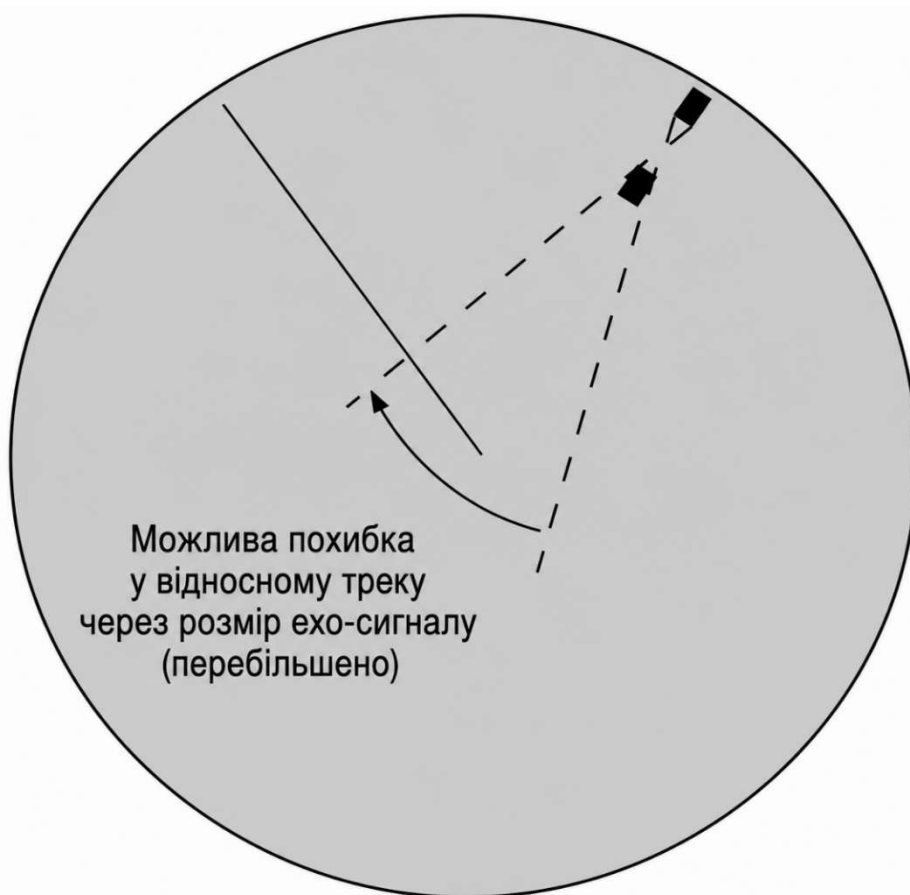


Рисунок 3.31 – Вплив розміру відмітки на точність визначення відносного руху

Ще одним важливим фактором є похибка у визначенні пеленга. Навіть незначне відхилення в куті призводить до зростаючої помилки у визначенні положення цілі зі збільшенням дистанції.

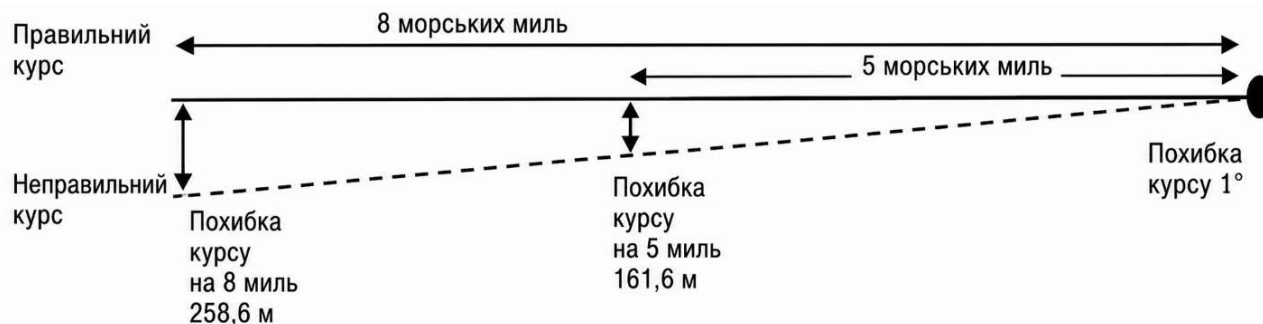


Рисунок 3.32 – Зростання похибки положення цілі внаслідок помилки пеленга

Наприклад, невелика кутова похибка на великій відстані може відповідати значному лінійному зміщенню. Це особливо критично при оцінці параметрів зближення, коли навіть незначні відхилення можуть вплинути на визначення СРА.

Оцінюючи точність роботи радіолокаційної станції, слід враховувати, що вона обмежується не лише параметрами вимірювання, але й нормативними вимогами до обладнання. Для сучасних систем встановлюються граничні значення похибок як для дистанції, так і для пеленга. Проте навіть відповідність цим вимогам не гарантує високої точності в кожній конкретній ситуації.

Таким чином, розміри імпульсу, ширина променя антени і похибки вимірювання кутів формують базові обмеження точності радіолокаційних даних. Розуміння цих факторів є необхідною умовою правильної інтерпретації інформації і прийняття обґрунтованих рішень у процесі управління судном.

3.5.1. Похибки, пов'язані з відбиттям сигналу та рухом антени

Наступним джерелом похибок є сам характер формування відбитого сигналу від цілі. Навіть невеликий об'єкт не є ідеальною точкою відбиття, а являє собою складну поверхню, від якої сигнал повертається з різних ділянок. У результаті радіолокаційна відмітка формується не як одна чітка точка, а як сукупність окремих відбиттів, розташованих поблизу деякого середнього положення.

Це явище відоме як ефект «мерехтіння» цілі. Його суть полягає в тому, що положення відмітки може незначно змінюватися від імпульсу до імпульсу, навіть якщо сама ціль рухається рівномірно. Таким чином, виміряні значення пеленга і дистанції містять випадкову складову, яка не пов'язана з реальним рухом об'єкта.

Додаткове ускладнення виникає через те, що різні імпульси можуть відбиватися від різних частин корпусу цілі. Це призводить до того, що відмітка фактично «зміщується» в межах певної області. При обробці таких даних система виконує згладжування, однак повністю усунути цей ефект неможливо.

До цього додається вплив руху власного судна, зокрема коливань корпусу. Антена радіолокатора розташована на значній висоті над рівнем води, тому

навіть відносно невеликі кути хитавиці призводять до помітного переміщення точки випромінювання в просторі.

Як показано на рисунку 3.29, при бортовій хитавиці антена описує дугу, і в крайніх положеннях її зміщення може досягати декількох метрів. У результаті відбитий сигнал від однієї й тієї ж цілі фіксується з різних положень антени.

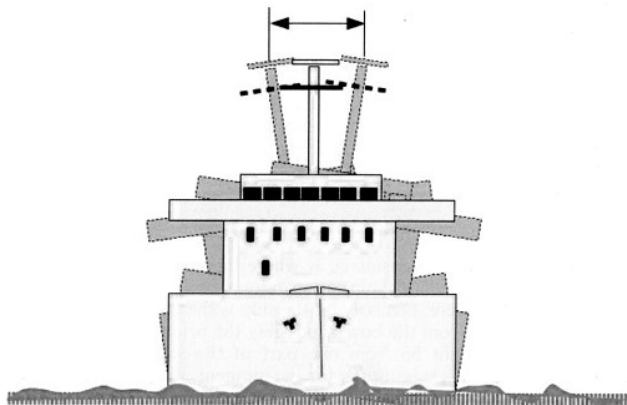


Рисунок 3.33 – Вплив переміщення антени при хитавиці судна на точність вимірювань

Це означає, що навіть при незмінному положенні цілі її координати можуть змінюватися внаслідок руху самої антени. Ефект посилюється зі збільшенням висоти встановлення антени і амплітуди хитавиці.

Окремим проявом впливу руху судна є кутова похибка, що виникає у випадку, коли площина обертання антени не є горизонтальною. У такій ситуації вимірювання пеленга здійснюється з систематичним відхиленням, величина якого залежить від положення цілі відносно осі хитавиці.

Ця похибка має характерну закономірність: вона відсутня у напрямках вздовж осі хитавиці і максимальна на курсових кутах, що відповідають носу та кормі або траверзам, залежно від типу руху судна. Таким чином, точність визначення пеленга змінюється залежно від положення цілі відносно власного судна.

Слід враховувати, що всі зазначені похибки мають випадковий характер і частково зменшуються при багаторазових спостереженнях. Однак існує межа такого зменшення, оскільки сам характер відбиття сигналу і геометрія системи не дозволяють повністю усунути ці відхилення.

Крім того, на величину похибок впливають і умови спостереження. Зміна ракурсу цілі, наприклад при зближенні суден, може змінювати її ефективну відбивну поверхню. Судно, що спочатку спостерігалось з корми і давало слабкий сигнал, при переході до бортового ракурсу формує більш інтенсивну відмітку. Це змінює як точність визначення дистанції, так і пеленга, а також впливає на характер випадкових відхилень.

У попередніх умовах ручної прокладки значна частина таких похибок маскувалася загальною неточністю побудов. Сучасні системи виконують обчислення з високою точністю, однак це не означає підвищення точності вихідних даних. Навпаки, створюється враження більшої визначеності, ніж це є насправді.

Таким чином, автоматизація обробки інформації не усуває похибки, а змінює їхній характер. Частина з них стає менш помітною, інші – навпаки, можуть проявлятися більш чітко. Це вимагає від судноводія розуміння природи цих похибок і обережності при інтерпретації отриманих даних.

Разом із тим, окрему групу становлять похибки, що виникають не на етапі формування сигналу, а в процесі його обробки обчислювальною системою. Після того як відмітка цілі виявлена, система повинна визначити, яка саме точка в межах відбитого сигналу відповідає її положенню. Оскільки відмітка має протяжність і нерівномірну структуру, це рішення завжди містить певну невизначеність.

Далі отримані значення пеленга і дистанції підлягають цифровій обробці. На цьому етапі виникає похибка, пов'язана з дискретизацією даних. Значення округлюються до найближчого рівня, який може бути представлений системою. Наприклад, якщо відстань до цілі становить 5,436 милі, а індикація обмежена двома десятковими знаками, то вона буде відображена як 5,44 милі. Така похибка є невеликою, але вона присутня постійно.

Після цього система виконує розрахунок параметрів руху цілі, а також значень СРА і ТСРА. Ці розрахунки самі по собі можуть бути дуже точними, однак вони базуються на даних, що вже містять похибки. Крім того, для забезпечення стабільності відображення використовується згладжування, яке, з одного боку, зменшує випадкові коливання, а з іншого – знижує чутливість до змін.

У випадках, коли ціль змінює курс або швидкість, система не одразу відображає ці зміни. Процес фільтрації певний час «утримує» попередній напрямок руху, що створює запізнення у відображенні нових параметрів. Аналогічний ефект виникає і при маневруванні власного судна, коли згладжування впливає на форму відносного треку.

До цього додаються похибки, пов'язані з роботою датчиків – зокрема гірокомпаса і лага. Вони накладаються на інші відхилення і можуть змінювати результати розрахунків, інколи створюючи уявлення про зміну руху цілі там, де її насправді немає.

У підсумку слід підкреслити, що інформація, яку формує ARPA, є результатом багатоступеневої обробки. На кожному етапі – від прийому сигналу до відображення параметрів – виникають похибки різної природи. Окремо вони можуть бути незначними, але в сукупності формують загальну невизначеність, яку необхідно враховувати при оцінці навігаційної обстановки.

3.5.2. Похибки визначення положення та обробки руху цілі

Після розгляду фізичних причин похибок радіолокаційної інформації необхідно звернути увагу на етап визначення положення цілі та подальшої обробки її руху в системах ARPA. Саме на цьому рівні формується інформація, яка безпосередньо використовується для оцінки навігаційної обстановки.

Положення цілі визначається на основі серії відбитих сигналів. У реальних умовах це не одна точка, а група близько розташованих відміток, що формують так звану «хмару» або «матрицю» відбиттів. Обчислювальна система повинна

визначити одну характерну точку, яка буде прийнята за положення цілі. У різних реалізаціях це може бути або середнє положення відбиттів, або точка, найближча до власного судна. Оскільки структура відбиттів змінюється, положення цієї точки не є абсолютно сталим навіть при рівномірному русі цілі.

Для того щоб зобразити відображення руху придатним для аналізу, застосовується фільтрація (згладжування) даних. Система враховує кілька останніх положень цілі і визначає усереднений напрямок та швидкість її руху. Саме цей усереднений рух і відображається у вигляді вектора.

Завдяки цьому відмітка цілі стає стабільною, а вектор – придатним для практичного використання. Проте така обробка має і зворотний ефект. У випадку зміни курсу або швидкості цілі система не відразу відображає цю зміну, оскільки вона сприймається як випадкове відхилення і певний час згладжується.

У результаті виникає запізнення у відображенні реального руху. Це означає, що в момент, коли на екрані стає помітною зміна вектора, ціль вже могла завершити маневр. Аналогічний ефект спостерігається і при маневруванні власного судна, коли алгоритми обробки тимчасово змінюють форму відносного руху всіх цілей.

Практичним наслідком цих особливостей є невизначеність параметрів зближення. Значення СРА, що відображається системою, не є абсолютно точним, а знаходиться в певному діапазоні можливих значень.

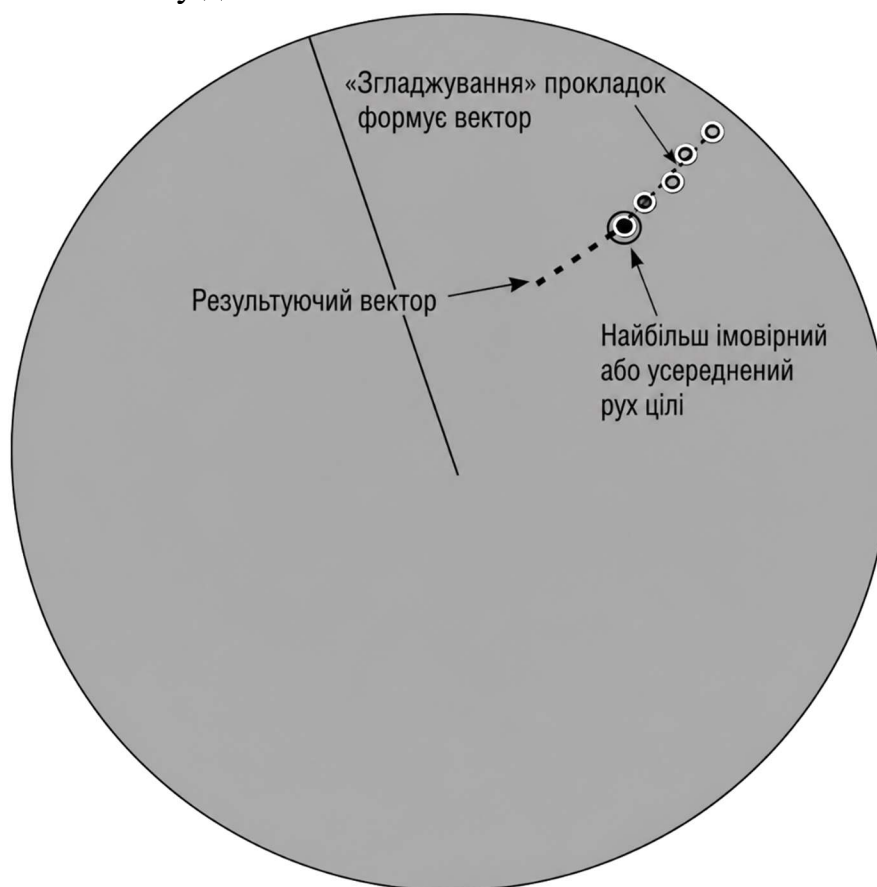


Рисунок 3.34 – Формування вектора руху цілі шляхом згладжування положень

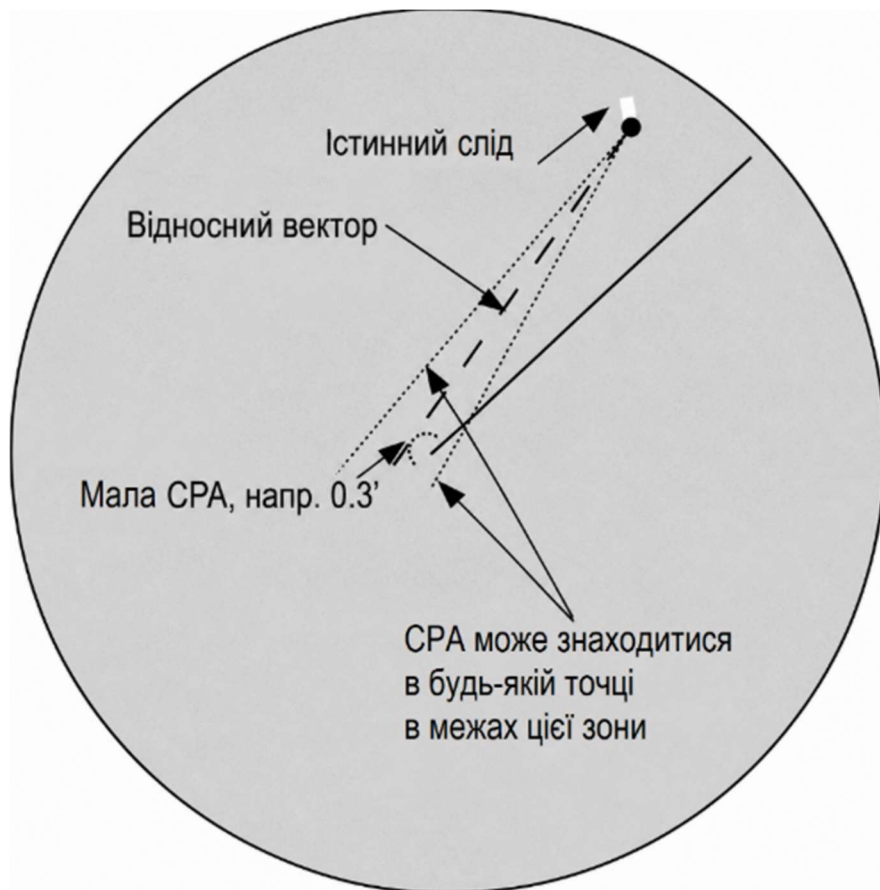


Рисунок 3.35 – Невизначеність значення CPA внаслідок похибок визначення положення та обробки руху

Як видно з рисунка, навіть при сталому русі цілі можливі відхилення її положення призводять до розкиду можливих значень CPA. Це особливо помітно при малих швидкостях зближення, коли похибка визначення положення має відносно більший вплив.

З практичної точки зору це означає, що значення CPA повинні інтерпретуватися з урахуванням цієї невизначеності. Якщо система показує малу дистанцію зближення, необхідно вводити додатковий запас безпеки і розглядати ситуацію як потенційно небезпечну.

Слід також враховувати, що навіть у сучасних радіолокаторах підвищена точність вимірювань не усуває цих ефектів. Основні причини похибок – структура відбиттів, особливості алгоритмів фільтрації та рух судна – залишаються незмінними.

Попри високий рівень автоматизації сучасних радіолокаційних систем, жоден із розрахункових параметрів не повинен сприйматися як абсолютно точний. Особливо це стосується CPA і ТСРА, які нерідко розглядаються як головні критерії оцінки небезпеки зближення.

На відміну від дистанції або пеленга, що безпосередньо вимірюються радіолокаційною станцією, значення CPA і ТСРА є результатом математичного прогнозування. Для їх визначення система використовує поточні оцінки курсу і швидкості цілі, а також параметри руху власного судна. При цьому розрахунок

базується на припущенні, що всі учасники руху збережуть свої параметри незмінними протягом усього прогнозованого інтервалу часу.

У реальних умовах плавання це припущення виконується далеко не завжди. Судна можуть змінювати курс, коригувати швидкість, зазнавати впливу течії або вітру. Крім того, сам процес визначення параметрів руху супроводжується похибками і запізненням, пов'язаними зі згладжуванням даних. У результаті значення CPA і TCRA відображають не майбутню ситуацію як таку, а найбільш ймовірний варіант її розвитку за поточних умов.

Особливої обережності потребують ситуації, коли прогнозована дистанція зближення є малою. Навіть незначні похибки у визначенні положення цілі, її курсу або швидкості можуть призвести до суттєвої зміни розрахункового CPA. Тому в практиці судноводіння не рекомендується приймати рішення, спираючись лише на одне числове значення. Значно важливішими є загальна тенденція зміни параметрів, стабільність векторів руху та їх відповідність радіолокаційній картині.

З цієї причини досвідчені судноводії використовують CPA і TCRA не як остаточну відповідь на питання про наявність небезпеки, а як один із елементів комплексної оцінки обстановки. Будь-які розрахункові параметри повинні співставлятися з графічним відображенням руху цілей, їх взаємним розташуванням, історичними відмітками та результатами безпосереднього спостереження.

Фактично розвиток автоматизованих систем змінив не стільки принцип оцінювання ситуації, скільки характер роботи судноводія. Якщо при ручній прокладці основні труднощі були пов'язані з побудовою відносного руху, то сучасні системи виконують ці розрахунки автоматично. Натомість основним завданням стає перевірка достовірності отриманих результатів та їх правильна інтерпретація.

Таким чином, похибки визначення положення та обробки руху цілі є невід'ємною частиною роботи систем ARPA. Їх розуміння дозволяє правильно оцінювати інформацію і уникати помилкових висновків при аналізі навігаційної обстановки.

3.6. Інтеграція AIS у систему оцінки навігаційної обстановки

Одним із найбільш суттєвих досягнень останніх років у розвитку навігаційних засобів є впровадження автоматичної ідентифікаційної системи AIS. Її вплив на судноводіння, попередження зіткнень і управління морським рухом продовжує зростати. Наявність значного обсягу інформації про судна в районі плавання суттєво змінює характер роботи судноводія і підходи до оцінки обстановки.

Подібно до того, як свого часу впровадження радіолокації змінило навігаційну практику, AIS поступово трансформує методи спостереження і прийняття рішень. Водночас цей процес потребує часу для формування сталої практики застосування і відповідної підготовки судноводіїв. Хоча AIS вже використовувався у випадках попередження зіткнень, його застосування не

замінює вимог МПЗЗС і не може розглядатися як самодостатній засіб оцінки обстановки.

AIS (Automatic Identification System) є системою обміну інформацією, що базується на використанні морського УКХ-радіозв'язку. Кожне судно, обладнане AIS, автоматично передає визначений набір даних і, за необхідності, приймає інформацію від інших суден і берегових станцій. Таким чином формується динамічна інформаційна картина руху в районі плавання.

Відповідно до міжнародних вимог, встановлених Міжнародною морською організацією, AIS є обов'язковим для суден, що виконують міжнародні рейси і відповідають визначеним тоннажним критеріям. Зокрема, система повинна бути встановлена на всіх суднах валовою місткістю 300 і більше, що здійснюють міжнародні перевезення, на вантажних суднах валовою місткістю 500 і більше, що не здійснюють міжнародних рейсів, а також на всіх пасажирських суднах незалежно від розміру.

Основне призначення AIS полягає у підвищенні безпеки судноплавства шляхом забезпечення обміну інформацією між суднами, а також між суднами і береговими службами. Система дозволяє оперативно отримувати дані про назву судна, його курс, швидкість, позицію, а також іншу інформацію, необхідну для оцінки обстановки. Ці дані використовуються як судноводіями, так і службами управління рухом суден.

Крім цього, AIS відіграє важливу роль у забезпеченні взаємодії з системами управління рухом суден (VTS), спрощенні обміну інформацією та зниженні навантаження на радіообмін. У результаті підвищується рівень ситуаційної обізнаності, що є ключовим елементом безпечного судноводіння.

З технічної точки зору AIS функціонує як радіосистема, що працює в діапазоні морського УКХ-зв'язку. Передача інформації здійснюється на виділених частотах, а дальність дії системи, як правило, становить десятки морських миль і залежить від умов поширення радіохвиль та висоти антени. На відміну від радіолокатора, AIS не формує зображення, а передає цифрову інформацію, яка потім відображається у вигляді символів і текстових даних на екрані навігаційних систем.

Сучасні AIS-транспондери інтегровані з іншими судовими системами, такими як GPS, гірокомпас, радіолокатор і ECDIS. Це дозволяє автоматично оновлювати дані і забезпечує їхню узгодженість у межах єдиної інформаційної системи судна.

Разом з тим, слід чітко розуміти, що AIS не є вимірювальним засобом у класичному розумінні. На відміну від радіолокатора, який визначає положення цілі безпосередньо, AIS передає дані, що вводяться або формуються на самому судні. Це означає, що точність і достовірність інформації залежать від правильності роботи бортових систем і коректності введених даних.

Таким чином, AIS слід розглядати як важливе доповнення до радіолокаційної інформації, але не як її заміну. Ефективне використання системи можливе лише за умови комплексного аналізу всіх доступних джерел інформації, з урахуванням їхніх переваг і обмежень.

3.6.1. Інформація, що передається та приймається системою AIS

Система AIS забезпечує безперервний автоматичний обмін інформацією між суднами, а також між суднами і береговими службами. Передача здійснюється без безпосередньої участі судноводія, при цьому система не лише передає власні дані судна, але й приймає, обробляє та відображає інформацію, отриману від інших учасників руху та відповідних органів.

Важливо розуміти, що значна частина обміну даними відбувається безпосередньо між береговими станціями, системами управління рухом і пошуково-рятувальними службами. Такі функції, пов'язані з розподілом частот, режимами передачі та управлінням мережею, зазвичай не помітні для судноводія і не потребують його втручання. Для користувача на судні AIS виступає як джерело вже обробленої і структурованої інформації.

Інформація, що передається через AIS, умовно поділяється на кілька категорій залежно від її характеру та частоти оновлення. У практиці судноводіння цей поділ має принципове значення, оскільки різні типи даних використовуються для різних задач оцінки обстановки.

До першої групи належать статичні дані судна. Це інформація, яка вводиться один раз і надалі змінюється рідко. Вона включає ідентифікаційні характеристики судна, такі як його назва, позивний сигнал, номер ІМО, тип судна, а також геометричні параметри, зокрема довжину і ширину. Особливе значення має MMSI – унікальний ідентифікатор, який використовується системою для розпізнавання судна. На відміну від назви, яка може не передаватися з високою частотою, MMSI присутній у кожному повідомленні і забезпечує однозначну ідентифікацію.

Окремо слід звернути увагу на положення антени системи позиціонування на судні. Ця інформація необхідна для коректного відображення контуру судна на електронних картах і радіолокаційних дисплеях. У випадку відмови зовнішньої системи позиціонування AIS може використовувати власні засоби визначення координат, що також повинно враховуватися при оцінці точності.

Друга група – це динамічні дані, які характеризують поточний рух судна. Вони формуються автоматично на основі інформації від навігаційних приладів і включають координати судна, курс над ґрунтом, швидкість, істинний курс, а також, за наявності, швидкість повороту. До цієї ж групи належить інформація про навігаційний статус судна, яка вводиться вручну і повинна регулярно оновлюватися судноводієм.

Таблиця 3.7 – Інтервали передачі динамічних даних AIS залежно від режиму руху судна

Режим руху судна	Інтервал передачі, с
На якорі або пришвартоване, швидкість ≤ 3 вузли	180
На якорі або пришвартоване, швидкість > 3 вузлів	10
Швидкість 0–14 вузлів	10
Швидкість 0–14 вузлів зі зміною курсу	3,33
Швидкість 14–23 вузли	6
Швидкість 14–23 вузли зі зміною курсу	2
Швидкість понад 23 вузли	2
Швидкість понад 23 вузли зі зміною курсу	2

Характерною особливістю динамічних даних є їхня змінна частота передачі. Вона залежить від швидкості судна і характеру його руху.

У спрощеному вигляді можна зазначити, що при стоянці або дуже малій швидкості передача здійснюється значно рідше, тоді як при русі і особливо при зміні курсу частота повідомлень зростає. Це дозволяє системі забезпечувати більш точне відображення маневрування судна.

Третю групу становлять рейсові (voyage-related) дані. Вони вводяться вручну і змінюються в межах одного рейсу. До них належать пункт призначення, очікуваний час прибуття, осадка судна, а також інформація про тип вантажу, включаючи небезпечні вантажі. Оскільки ці дані не оновлюються автоматично, їхня достовірність безпосередньо залежить від дисципліни екіпажу.

Окрему категорію складають повідомлення безпеки та охорони. AIS дозволяє передавати як адресні повідомлення конкретному судну, так і ширококомовні повідомлення для всіх суден у районі. Вони можуть використовуватися для передачі навігаційних попереджень, інформації про небезпеки або координаті дій у складних ситуаціях. При цьому слід враховувати, що факт доставки повідомлення не гарантує його фактичного сприйняття судноводієм.

Таким чином, AIS формує багаторівневий інформаційний потік, який поєднує як автоматично генеровані, так і введені вручну дані. Ефективність його використання визначається не лише технічними характеристиками системи, але й якістю введеної інформації та здатністю судноводія правильно її інтерпретувати.

3.6.2. Використання AIS у системах управління рухом суден (VTS)

Сучасні системи управління рухом суден дедалі більше спираються на AIS як на ключове джерело інформації про навігаційну обстановку. Якщо традиційно контроль руху в портах і на підходах до них здійснювався переважно за допомогою радіолокації та радіообміну із суднами, то впровадження AIS дозволило перейти до якісно нового рівня моніторингу.

Головна перевага AIS у цьому контексті полягає в тому, що система забезпечує безперервне та автоматичне отримання повної інформації про судна в зоні відповідальності. На відміну від радіолокації, де частина параметрів визначається опосередковано, AIS передає ідентифікаційні дані, координати, курс, швидкість, тип судна та інші характеристики безпосередньо з борту. Це дозволяє формувати значно більш повну картину руху.

Окрім цього, AIS забезпечує ширше географічне покриття. Радіолокаційні станції обмежені умовами розміщення та впливом рельєфу, тоді як AIS-сигнали можуть прийматися на значно більших відстанях, особливо при використанні берегових антен, розташованих на висоті, або мережі станцій уздовж узбережжя. У результаті стає можливим контроль руху суден на великих акваторіях, включаючи протяжні водні шляхи та естуарії.

Важливою характеристикою є також вища точність визначення положення. За наявності диференціальних систем позиціонування похибка координат, що передаються через AIS, може бути значно меншою, ніж у радіолокаційного

визначення, яке обмежене шириною променя та тривалістю імпульсу. Це особливо важливо при контролі руху в обмежених умовах.

Ще однією суттєвою перевагою є відсутність так званих радіолокаційних тіней. У районах зі складним рельєфом або забудовою частина акваторії може бути недоступною для радарного спостереження, тоді як AIS дозволяє «бачити» судна навіть у таких зонах за умови наявності зв'язку з ними.

У практичному застосуванні важливу роль відіграє поєднання AIS і радіолокаційної інформації. Відображення обох джерел на одному індикаторі дозволяє компенсувати недоліки кожного з них. Радіолокація забезпечує виявлення об'єктів, що не мають AIS, тоді як AIS дає розширену інформацію про ті цілі, що передають дані. Така інтеграція формує більш надійну та повну навігаційну картину.

Застосування AIS у системах VTS також суттєво знижує навантаження на радіообмін. Багато інформації, яка раніше передавалася голосом, тепер автоматично доступна операторам і судноводіям. Це підвищує ефективність роботи та зменшує ймовірність помилок, пов'язаних із людським елементом.

Окремий напрям використання AIS пов'язаний із передачею додаткової інформації, включаючи дані про порти, швартування, лоцманське забезпечення, погодні умови та інші навігаційні повідомлення. Це дозволяє створити єдине інформаційне середовище, в якому всі учасники руху мають доступ до актуальних даних.

Разом із тим, важливо усвідомлювати, що AIS не є самодостатньою системою. Незважаючи на високу інформативність, вона залишається залежною від коректності введених даних і стабільності роботи супутникових систем позиціонування. Тому використання AIS у VTS має здійснюватися лише у поєднанні з іншими засобами спостереження та контролю.

У підсумку можна зазначити, що AIS суттєво розширює можливості систем управління рухом суден, забезпечуючи більш точний, повний і оперативний контроль за навігаційною обстановкою. Водночас ефективність його застосування безпосередньо залежить від грамотної інтеграції з радіолокаційними засобами та від рівня підготовки персоналу, який працює з цією інформацією.

3.6.3. AIS-повідомлення та принципи обміну даними

Система AIS функціонує не лише як джерело координат та рухових параметрів суден, а як повноцінне середовище цифрового обміну інформацією. У її основі лежить стандартизований набір повідомлень, структура та призначення яких визначені рекомендаціями ITU-R M.1371. Саме ці повідомлення формують той інформаційний потік, який сприймається судноводієм через радіолокаційний індикатор, ECDIS або спеціалізовані AIS-дисплеї.

З практичної точки зору важливо розуміти, що AIS передає не «один тип даних», а декілька різних за природою потоків інформації. Частина з них описує сам об'єкт – судно, інша частина характеризує його рух, ще інша пов'язана з

безпекою або службовою взаємодією. Такий поділ не є формальним: він визначає частоту передачі, пріоритет і навіть спосіб обробки цих даних у системі.

На рівні користувача вся ця різноманітність зводиться до типів повідомлень, які можна узагальнити таким чином.

Таблиця 3.8 – Основні типи AIS-повідомлень

Тип повідомлення	Опис	Тип повідомлення	Опис
1, 2, 3	Повідомлення про позицію судна	10, 11	UTC-запит і відповідь
4	Повідомлення берегової станції	12–14	Повідомлення безпеки
5	Статичні та рейсові дані	15	Запит інформації
6, 7, 8	Бінарні повідомлення	16	Команди управління
9	Повідомлення SAR	17	Диференціальні GNSS-дані
Тип повідомлення	Опис	Тип повідомлення	Опис
18, 19	Повідомлення класу В	21	Навігаційні знаки (AtoN)
20	Управління слотами	22	Управління каналами

Однак для судноводія сама класифікація повідомлень має другорядне значення. Ключовим є розуміння того, **як ці повідомлення потрапляють у систему і чому вони не конфліктують між собою**, навіть коли в зоні дії знаходяться сотні суден.

Передача AIS-даних базується на принципі часової організації доступу до каналу зв'язку – TDMA. Уся хвилина поділяється на 2250 коротких інтервалів, або слотів, і кожна станція використовує лише ті з них, які вважає вільними. При цьому вибір слотів здійснюється не випадково, а на основі аналізу вже зайнятих інтервалів та прогнозу їх використання іншими учасниками обміну.

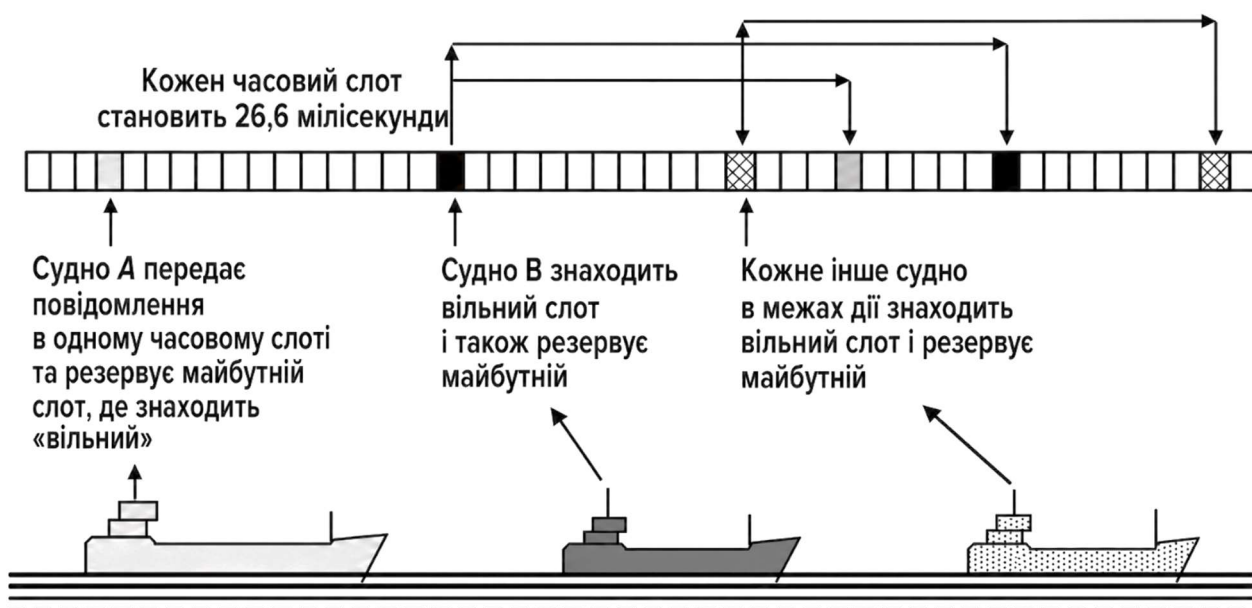


Рисунок 3.36 – Організація часових слотів AIS (TDMA)

Такий підхід отримав назву самоорганізованого доступу (SOTDMA) і є принципово важливим: система не має єдиного центра керування, а функціонує як розподілена мережа, де кожне судно самостійно визначає свою поведінку.

Частота передачі повідомлень безпосередньо залежить від динаміки руху судна. Якщо судно знаходиться на якорі, інформація оновлюється рідко, тоді як при русі з високою швидкістю або зміні курсу передача відбувається значно частіше. Це забезпечує баланс між навантаженням на канал і актуальністю даних.

В умовах великої інтенсивності руху система не перевантажується миттєво, а переходить у режим поступового зниження якості відображення. У першу чергу можуть втрачатися сигнали від віддалених суден, тоді як найближчі цілі, що становлять найбільший інтерес для судноводія, зберігаються. Такий механізм часто описується як «деградація з пріоритетом близьких цілей» і є принципово важливим для безпеки.

Ще однією характерною особливістю AIS є те, що значна частина обміну відбувається без участі оператора. Берегові станції можуть призначати часові слоти, змінювати режими роботи або навіть опитувати судна. Для судноводія ці процеси залишаються непомітними, але саме вони забезпечують стабільність функціонування системи у складних умовах.

З практичної точки зору це означає, що AIS не слід сприймати як «простий передавач координат». Це складна система, яка динамічно адаптується до навігаційної обстановки, змінює частоту обміну, структуру передачі і навіть пріоритети даних.

Разом із тим, незважаючи на високу технологічність, AIS має і свої обмеження. Передані дані можуть бути неточними через помилки введення, затримки обробки або особливості роботи системи у перевантажених районах. Тому отриману інформацію необхідно завжди оцінювати у поєднанні з іншими джерелами, насамперед радіолокаційними.

У підсумку можна зазначити, що AIS-повідомлення є не просто набором цифрових параметрів, а елементом складної системи обміну даними, яка формує сучасне інформаційне середовище судноплавства. Розуміння принципів їх передачі дозволяє судноводію більш критично оцінювати інформацію та ефективніше використовувати її у процесі прийняття рішень.

3.6.4. Особливості побудови та інтеграції AIS на судні

AIS є складовою частиною інтегрованої навігаційної системи судна і функціонує у тісній взаємодії з іншими засобами – GNSS, гірокомпасом, радіолокаційними станціями та ECDIS. Його роль полягає не лише у передачі інформації, а й у забезпеченні єдиного інформаційного простору на ходовому містку.

Конструктивно суднове обладнання AIS включає приймально-передавальні засоби VHF-зв'язку, обчислювальний модуль, приймачі сигналів позиціонування та інтерфейси взаємодії з іншими навігаційними системами.

До складу типової системи входять два VHF-приймачі (для каналів AIS1 і AIS2), DSC-приймач, один VHF-передавач, а також внутрішній GNSS-приймач. Система автоматично обирає канал передачі, забезпечуючи безперервний обмін

даними. У нормальному режимі AIS використовує зовнішні GNSS-дані, однак у разі їх втрати переходить на внутрішній приймач, що підвищує надійність роботи.

Обробка всієї інформації здійснюється процесорним модулем, який виконує не лише обчислення, а й контроль цілісності даних, виявлення помилок та інтеграцію з іншими системами судна. Через цей модуль AIS обмінюється інформацією з радіолокатором, ECDIS, гірокомпасом та іншими джерелами навігаційних даних.

Взаємодія AIS з іншими системами відображена у загальній схемі інтеграції.

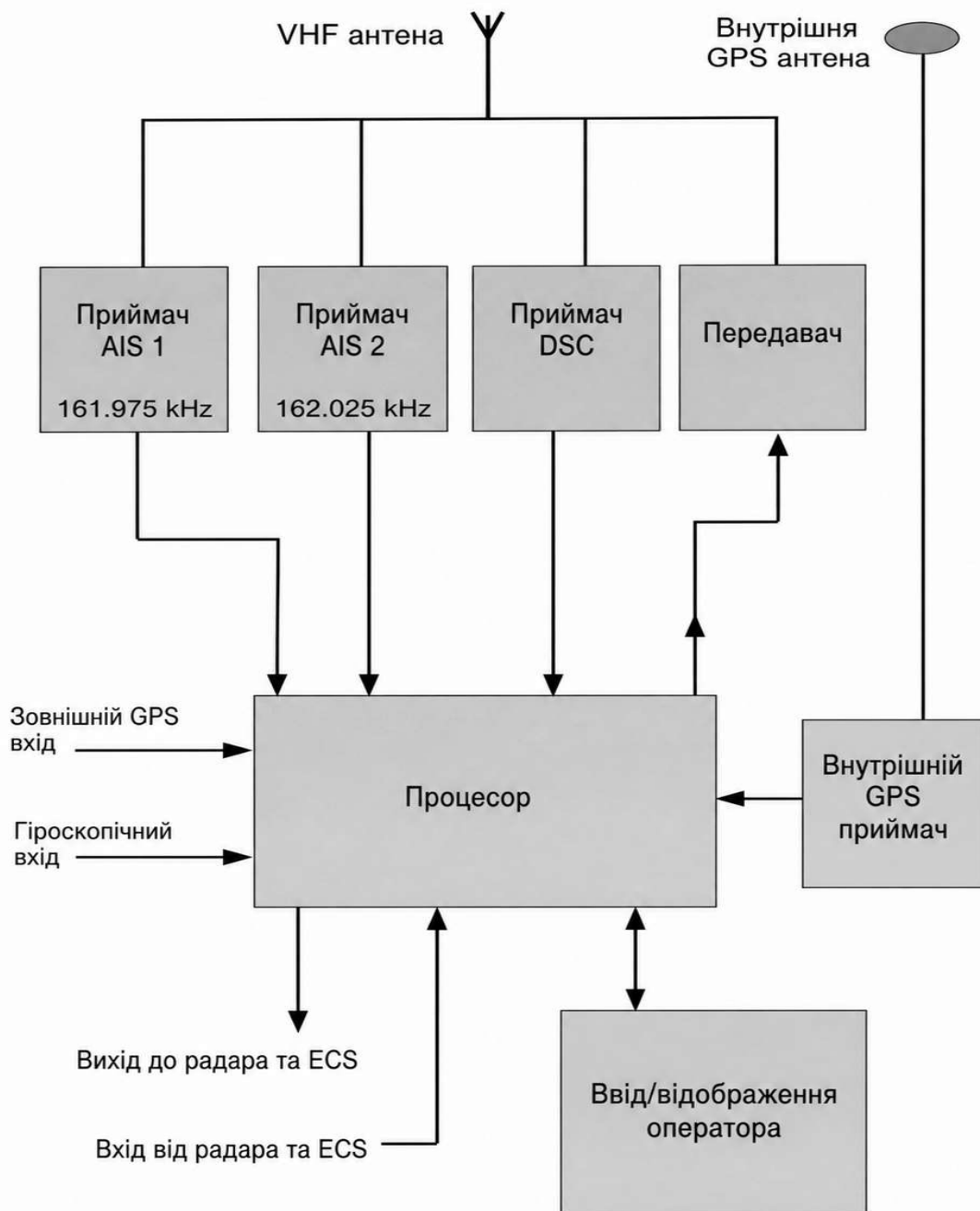


Рисунок 3.37 – Структурна схема суднового обладнання AIS

Як видно, AIS отримує координати і швидкість від GNSS (course and speed over ground), тоді як інформація про курс надходить від гірокомпаса. Це означає, що AIS формує дані у глобальній системі координат, на відміну від радіолокаційної інформації, яка є відносною щодо власного судна.

Ця особливість має принципове значення при оцінці навігаційної обстановки. У певних ситуаціях різниця між «relative» і «ground-referenced» даними може призводити до помилкового трактування зближення суден, особливо при наявності течій або дрейфу.

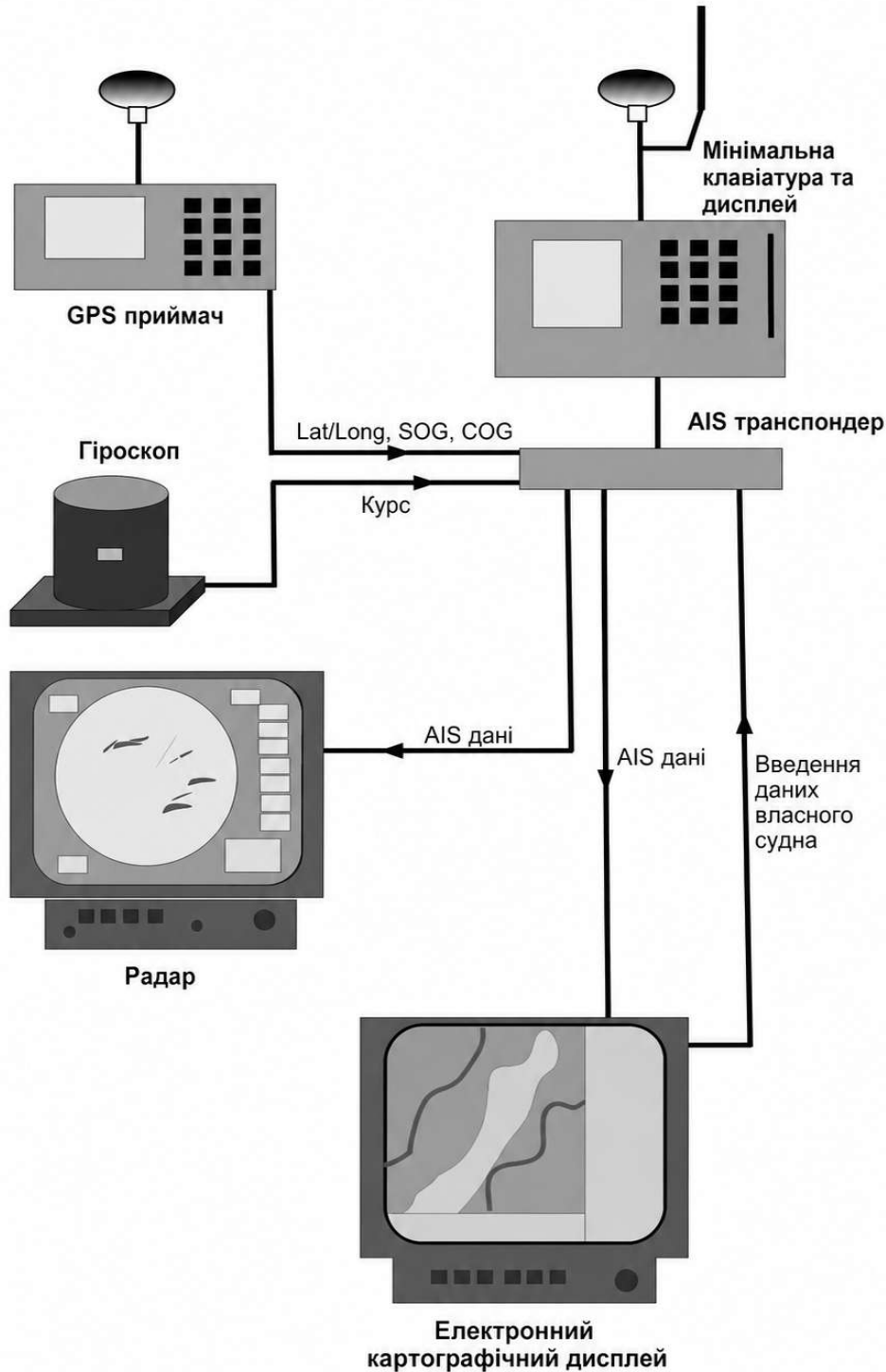


Рисунок 3.38 – Інтеграція AIS з навігаційними системами судна

Окремої уваги потребує той факт, що частина інформації AIS вводиться оператором вручну. Це стосується, зокрема, рейсових даних (порт призначення, ЕТА, тип вантажу) та навігаційного статусу судна. Помилки введення можуть суттєво впливати на достовірність інформації, що передається іншим суднам і береговим службам.

У системі AIS використовуються різні типи цілей, які мають свої особливості відображення та інтерпретації. Початково всі цілі можуть відображатися як «сплячі» (sleeping), що дозволяє зменшити перевантаження екрану. Після активації вони відображаються аналогічно радіолокаційним цілям із додатковою інформацією – вектором руху, курсом, швидкістю, а за наявності даних – і швидкістю повороту.

При цьому система дозволяє визначати небезпечні цілі на основі заданих меж CPA і TCRA. Якщо прогнозовані параметри зближення виходять за встановлені межі, така ціль позначається як небезпечна і супроводжується сигналізацією.

Особливий режим пов'язаний із втратою цілі. У разі припинення надходження даних AIS відображає останнє відоме положення цілі і генерує відповідний сигнал. Це вимагає від судноводія критичної оцінки ситуації, оскільки відсутність сигналу не означає зникнення судна.

Відображення AIS-цілей має стандартизовану графіку, що включає трикутні символи, вектори руху, індикатори курсу та інші елементи, які можуть змінюватися залежно від режиму роботи та налаштувань системи.

Загалом AIS значно підвищує інформативність навігаційної обстановки, однак його дані не можуть розглядатися як абсолютно достовірні. Система залежить від зовнішніх джерел інформації, правильності налаштування та дій оператора.

Тому AIS слід використовувати виключно як елемент інтегрованої системи спостереження. Його дані повинні постійно зіставлятися з радіолокаційною інформацією та візуальними спостереженнями. Лише комплексний підхід дозволяє забезпечити надійну оцінку обстановки та безпечне управління судном.

3.6.5. Оцінка інформації радіолокації та AIS у задачах попередження зіткнень

І радіолокаційні засоби, і система AIS призначені для вирішення однієї ключової задачі – забезпечення судноводія інформацією про навігаційну обстановку та цілі в районі плавання. Водночас характер цієї інформації, її джерело та спосіб формування суттєво відрізняються, що визначає як переваги, так і обмеження кожної із систем.

Радіолокатор має принципову перевагу, оскільки дозволяє виявляти практично будь-які об'єкти, незалежно від наявності на них активних передавачів. Він формує інформацію безпосередньо за рахунок відбитого сигналу, що робить його автономним джерелом даних. При цьому вся інформація є відносною щодо власного судна, що дозволяє безпосередньо оцінювати ситуацію зближення без необхідності врахування зовнішніх систем позиціонування.

Разом з тим радіолокаційна інформація має обмежений зміст. Вона відображає положення цілі та її відносний рух, тоді як параметри істинного руху визначаються шляхом обробки і накопичення даних. Це означає, що будь-які зміни курсу або швидкості цілі проявляються не миттєво, а з певною затримкою. Крім того, на точність впливають властивості відбитого сигналу, зокрема нестабільність центру відбиття, що може призводити до похибок у визначенні курсу і швидкості цілі.

Система AIS, навпаки, забезпечує значно ширший обсяг інформації про ціль. Окрім координат, вона передає курс і швидкість відносно ґрунту, а також додаткові дані – тип судна, його розміри, ідентифікаційні параметри та іншу службову інформацію. Це суттєво підвищує інформативність навігаційної картини і полегшує її інтерпретацію.

Особливістю AIS є те, що значна частина переданої інформації не визначається безпосередньо системою, а надходить від інших суднових приладів або вводиться оператором. У результаті судноводій отримує вже готовий набір параметрів, не маючи можливості безпосередньо оцінити процес їх формування.

На відміну від цього, радіолокаційна станція виконує власні вимірювання положення цілі незалежно від обладнання іншого судна. Саме тому розбіжності між AIS-даними та радіолокаційною інформацією не завжди свідчать про несправність однієї із систем. У багатьох випадках вони є наслідком використання різних джерел інформації та різних принципів її отримання.

З практичної точки зору найбільш небезпечною є ситуація, коли судноводій починає сприймати AIS як більш достовірне джерело лише тому, що воно містить більший обсяг інформації. Насправді додаткові дані не завжди означають підвищення точності. Тому будь-яка невідповідність між AIS і радіолокаційною картиною повинна розглядатися як підстава для додаткової перевірки, а не як привід автоматично довіряти одному з джерел.

Водночас AIS має принципове обмеження: вона залежить від наявності та справності передавача на іншому судні, а також від коректності введених і переданих даних. Помилки у вихідній інформації або відсутність передачі роблять систему неповною. Крім того, AIS-дані формуються у глобальній системі координат і відображають рух відносно ґрунту, що відрізняється від відносної природи радіолокаційної інформації.

Ця відмінність особливо проявляється при накладенні AIS-даних на радіолокаційне зображення, зокрема у режимі морської стабілізації.

Як видно, AIS-ціль може відображатися з «істинним» вектором руху, який не відповідає фактичному відносному руху відносно власного судна. Це може створювати хибне враження про ситуацію, наприклад формувати уявлення про безпечне розходження там, де насправді існує небезпека зближення.

Подібні ефекти можуть виникати і при використанні різних режимів стабілізації відображення або при некоректному поєднанні даних різної природи. При цьому сама інформація не є помилковою – вона просто відображається у різних системах відліку, що потребує правильної інтерпретації.

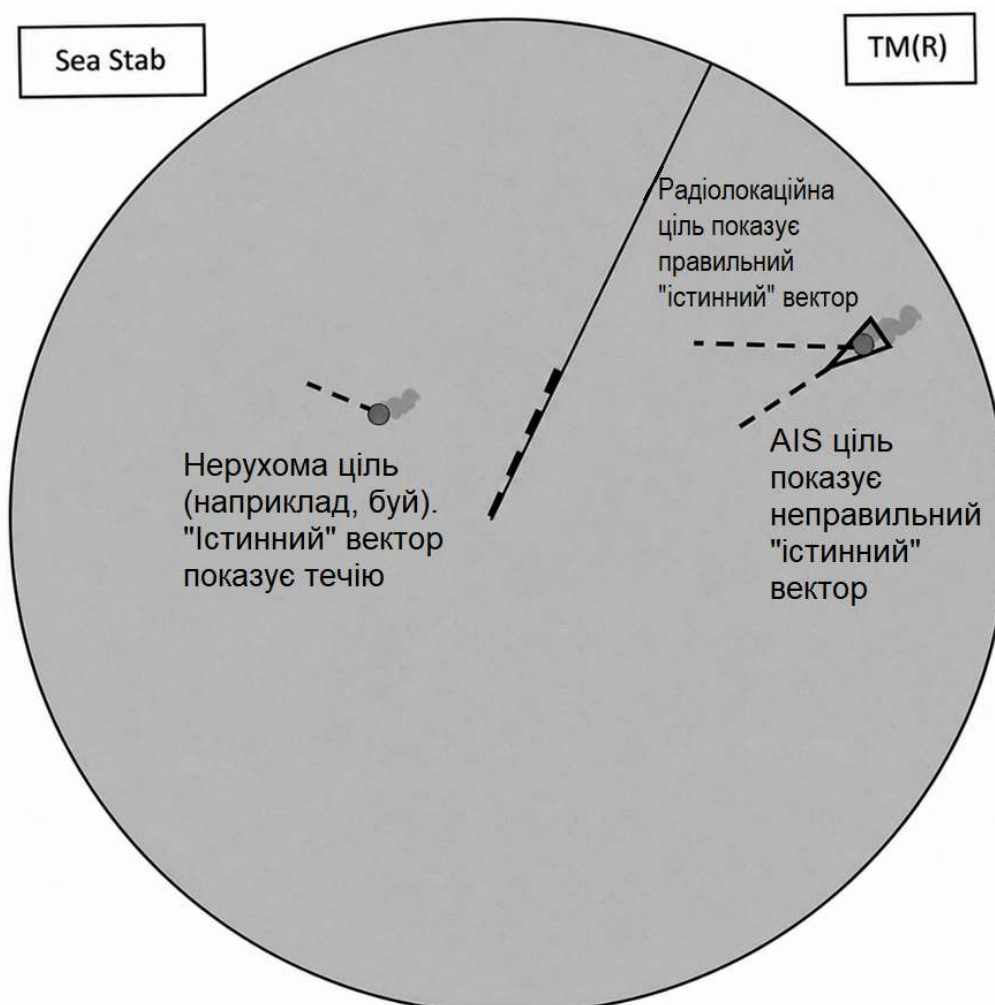


Рисунок 3.35 – Порівняння відображення AIS та радіолокаційних даних у режимі морської стабілізації

З практичної точки зору це означає, що жодна з систем не може розглядатися як самодостатня. Радіолокатор забезпечує надійне виявлення об'єктів і контроль відносного руху, тоді як AIS доповнює цю інформацію даними про істинний рух та характеристики цілей.

Ключове значення має здатність судноводія правильно поєднувати ці джерела інформації. Саме тут вирішальну роль відіграє людський елемент – розуміння природи даних, їх обмежень і можливих похибок. Без такого розуміння навіть точна інформація може бути інтерпретована неправильно.

У підсумку слід пам'ятати, що ні радіолокатор, ні AIS не забезпечують повного виявлення всіх об'єктів і не гарантують абсолютної достовірності інформації. Лише комплексне використання технічних засобів разом із візуальним спостереженням дозволяє сформувати адекватну навігаційну картину і приймати безпечні рішення при управлінні судном.

3.6.6. Використання AIS у контексті МПЗЗС та узгодження з радіолокаційними даними

Сучасні навігаційні засоби значно розширюють інформаційні можливості судноводія, однак їх використання має розглядатися у контексті вимог МПЗЗС.

На відміну від радіолокації, система AIS прямо не згадується у Правилах, що означає необхідність особливо обережного підходу до інтерпретації отриманих з неї даних.

Інформація AIS повинна використовуватися як частина загального процесу оцінки навігаційної обстановки, а не як самостійна основа для прийняття рішень щодо розходження суден. Це пов'язано з тим, що AIS відображає рух суден відносно ґрунту, тоді як положення і взаємне розташування суден у МПЗЗС розглядаються у відносному русі через воду. Така відмінність може призводити до суттєвих розбіжностей у трактуванні ситуації.

Практика показує, що використання лише AIS-даних при оцінці ризику зіткнення є потенційно небезпечним. Передавана інформація може бути неточною або застарілою, а сам факт її наявності створює у судноводія хибне відчуття повноти картини. Особливо це стосується випадків, коли інші судна не оснащені AIS або мають вимкнені або некоректно налаштовані транспондери.

Причина полягає не лише у можливих технічних похибках. МПЗЗС побудовані на оцінці фактичної навігаційної ситуації та реального взаємного положення суден. AIS не спостерігає цю ситуацію безпосередньо, а лише передає інформацію про неї. Тому навіть повністю справна система не може гарантувати, що отримані дані повністю відображають реальний розвиток подій.

З цієї точки зору AIS слід розглядати як допоміжний засіб підвищення ситуаційної обізнаності. Він дозволяє швидше ідентифікувати цілі, отримати інформацію про їх характеристики та уточнити параметри руху. Однак оцінка ризику зіткнення і вибір маневру повинні базуватися на комплексному аналізі всієї доступної інформації відповідно до вимог МПЗЗС.

З іншого боку, AIS суттєво підвищує ситуаційну обізнаність, дозволяючи отримувати додаткові відомості про цілі, включаючи їх ідентифікацію, параметри руху та зміну статусу майже в реальному часі. Це полегшує аналіз обстановки, однак не замінює необхідності постійного радіолокаційного контролю і візуального спостереження.

Особливу складність становить поєднання AIS-даних із радіолокаційним зображенням на одному дисплеї.

Як видно, дані AIS і радіолокації походять із різних джерел і формуються за різними принципами. AIS базується на переданій інформації від судна-цілі, тоді як радіолокатор використовує відбитий сигнал. У результаті положення, курс і швидкість однієї і тієї ж цілі можуть відображатися по-різному.

Ці відмінності особливо помітні, коли AIS-символ не збігається з радіолокаційною відміткою. Це може бути зумовлено як похибками позиціонування, так і різницею між істинним і відносним рухом, а також впливом течій.

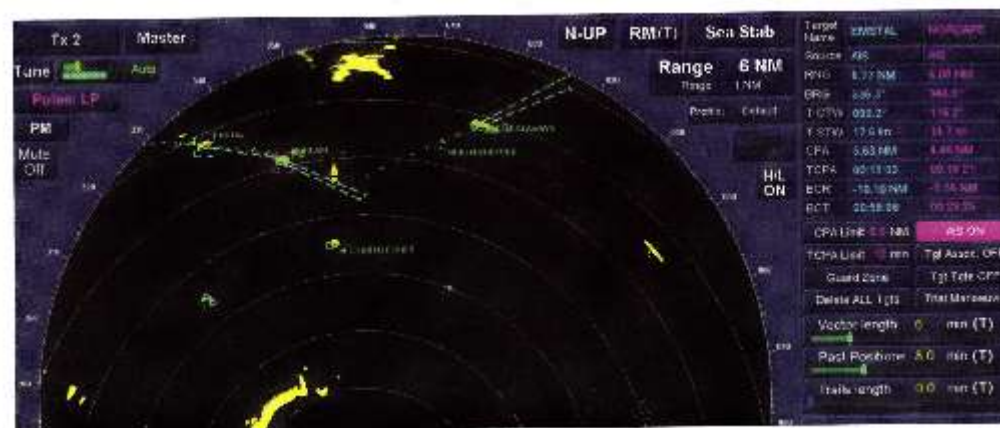
Для усунення цих розбіжностей у сучасних системах використовується функція узгодження цілей (target association або fusion). Вона дозволяє об'єднати AIS-ціль і радіолокаційну відмітку в єдиний об'єкт за умови, що їх параметри знаходяться в межах заданих допусків.



a)



б)



в)

Рисунок 3.40 – Радіолокаційне зображення без використання AIS (а), з увімкненим узгодженням цілей (б) і без узгодження AIS і радіолокаційних цілей (в)

Узгодження виконується за низкою критеріїв, основними з яких є відмінності в пелензі, дистанції, курсі та швидкості. Якщо ці відмінності перевищують встановлені значення, система розділяє цілі, відображаючи їх окремо. Таким чином забезпечується контроль достовірності інформації та запобігання помилковому об'єднанню різних об'єктів.

У випадку успішного узгодження формується єдина ціль із одним вектором руху і узагальненими даними. При цьому джерело інформації може визначатися

як пріоритетне – або радіолокаційне, або AIS. Це дозволяє гнучко адаптувати систему до умов плавання.

Водночас судноводій повинен чітко розуміти, що узгодження не означає усунення похибок. Воно лише об'єднує дані в межах заданих допусків. При зміні курсу або швидкості, особливо в умовах течій, можливі тимчасові розбіжності між джерелами інформації.

Особливої обережності потребує використання цієї функції в районах із приливними течіями, де різниця між рухом відносно води і ґрунту є значною. У таких умовах «істинні» вектори можуть інтерпретуватися неправильно, що створює ризик помилкової оцінки ситуації.

У підсумку слід підкреслити, що ні AIS, ні радіолокація не забезпечують повної і абсолютно достовірної картини обстановки. Їх ефективність визначається не лише технічними характеристиками, а передусім здатністю судноводія правильно інтерпретувати інформацію.

Саме тому ключову роль відіграє людський елемент: знання обмежень систем, розуміння природи даних і вміння поєднувати різні джерела інформації. Лише такий підхід відповідає вимогам МПЗЗС і забезпечує безпечне управління судном.

3.6.7 Особливості використання AIS: обмеження, відключення та розвиток системи

Відповідно до вимог і загальноприйнятої практики, система AIS повинна постійно перебувати у ввімкненому стані та функціонувати коректно незалежно від режиму експлуатації судна – на переході, на якорі чи біля причалу. Такий підхід пов'язаний із тим, що AIS є важливим елементом забезпечення безпеки судноплавства і ситуаційної обізнаності.

Разом з тим ще на етапі впровадження було усвідомлено, що система може створювати і певні ризики, зокрема з точки зору безпеки або комерційної інформації. У випадках, коли існує реальна загроза для судна, капітан може прийняти рішення про тимчасове припинення передачі AIS-даних шляхом вимкнення обладнання. Типовим прикладом є плавання у районах підвищеної піратської активності.

Такі дії не повинні бути довільними – факт вимкнення AIS має бути зафіксований у судовому журналі, а після зникнення загрози система повинна бути якнайшвидше знову введена в роботу.

Особливості роботи обладнання також залежать від його типу та покоління. У деяких старіших системах при вимкненні втрачалася частина статичних даних і після повторного увімкнення необхідно було виконувати їх повторне введення. У сучасних системах ця проблема переважно усунута, однак після запуску доцільно перевіряти коректність усіх введених даних про судно.

Окремі обмеження використання AIS пов'язані з вимогами безпеки в портах і нафтоналивних терміналах. Відповідно до рекомендацій ISGOTT, у таких умовах потужність радіопередач повинна бути обмежена, як правило, до рівня близько 1 Вт. Для цього в деяких системах передбачено спеціальний режим роботи, наприклад для перевезення небезпечних вантажів. На практиці, однак, не

всі AIS-пристрої забезпечують таке зниження потужності, у зв'язку з чим адміністрації портів можуть вимагати повного вимкнення AIS.

Подібні вимоги можуть застосовуватися і в інших випадках, наприклад у районах, де існує ризик накопичення вибухонебезпечних газів. У деяких режимах експлуатації, зокрема при малій швидкості або стоянці на якорі, окремі системи автоматично знижують потужність передавання.

Питання впливу VHF-випромінювання AIS у таких умовах залишається дискусійним, однак незалежно від цього судноводій зобов'язаний дотримуватися встановлених місцевих вимог і правил.

Ще однією важливою особливістю є відкритий характер AIS-даних. Інформація про судна широко розповсюджується через мережу Інтернет, що розглядається як потенційний фактор ризику з точки зору безпеки. Незважаючи на застереження з боку ІМО, ця практика залишається поширеною.

З точки зору обладнання, більшість морських суден оснащуються AIS класу А, який відповідає вимогам SOLAS і забезпечує повний функціонал системи. Пристрої класу В використовуються переважно на маломірних судах і не завжди відповідають усім експлуатаційним вимогам, однак розроблені таким чином, щоб працювати сумісно з системами класу А.

Подальший розвиток AIS пов'язаний із розширенням його можливостей. Зокрема, система LRIT дозволяє здійснювати ідентифікацію та відстеження суден на глобальному рівні, що виходить за межі традиційної VHF-зони покриття AIS. Перспективним напрямком є також використання супутникових AIS-систем, які забезпечують прийом сигналів у глобальному масштабі.

Хоча основне призначення AIS пов'язане з судновою навігацією, система має значно ширше застосування. Дані AIS використовуються при розслідуванні аварій, аналізі руху суден, плануванні навігаційної інфраструктури, управлінні флотом та оцінюванні ризиків. Крім того, вони дозволяють формувати статистичні бази даних і забезпечують інформаційну підтримку для берегових служб.

У підсумку слід підкреслити, що AIS є потужним інструментом підвищення ситуаційної обізнаності, однак його використання вимагає розуміння обмежень системи, критичного ставлення до отриманих даних і обов'язкового поєднання з іншими засобами спостереження.

3.7. Інтеграція радіолокаційної інформації з ECDIS (єдина інформаційна картина)

Цей розділ слід розглядати у взаємозв'язку з попереднім матеріалом, присвяченим застосуванню радіолокатора у навігації, оскільки інтеграція радіолокаційної інформації з електронними картами є логічним продовженням розвитку радіолокаційних засобів.

У сучасних суднових системах управління радіолокатор не функціонує ізольовано. Протягом останніх десятиліть до його функціоналу було додано значну кількість можливостей, спрямованих як на підвищення ефективності

виявлення та супроводження цілей, так і на інтеграцію з іншими навігаційними системами, передусім ECDIS та AIS.

Водночас інтеграція радіолокаційної інформації з іншими системами має як переваги, так і обмеження. Вона підвищує інформативність і дозволяє отримати узгоджене уявлення про навігаційну обстановку, однак потребує обережного використання та не замінює традиційних навичок судноводіння.

Із впровадженням супутникових систем позиціонування, ECDIS та AIS роль радіолокатора змінилася. Для судноводія це має два основні наслідки. По-перше, інформація про власне судно та навколишні цілі повинна узгоджуватися між собою для забезпечення однозначної оцінки ситуації. По-друге, частина традиційних режимів відображення та функцій може бути обмежена або спрощена, що вимагає від судноводія чіткого розуміння принципів роботи системи.

Накладання радіолокаційного зображення (Radar Overlay)

Передача радіолокаційної інформації до ECDIS може здійснюватися у двох основних формах.

У першому випадку передаються лише дані ARPA, тобто інформація про супроводжувані цілі. У цьому режимі на електронній карті (SENC) відображаються символи цілей із відповідними ідентифікаційними даними та векторами руху. Режим і довжина векторів можуть налаштовуватися незалежно від налаштувань радіолокатора. Наприклад, на радарі можуть використовуватися відносні вектори, тоді як на ECDIS – істинні.

У другому випадку передається безпосередньо радіолокаційне зображення (відеосигнал), яке накладається на електронну карту. У цьому разі на карті відображається повна радіолокаційна картина, включаючи як цілі, так і небажані відмітки – хвильові завади, дощові перешкоди та паразитні відбиття.

При накладанні радіолокаційного зображення на ECDIS необхідно забезпечити відповідність масштабу та орієнтації між картою і радаром.

Положення радіолокаційного зображення та координати, що надходять від датчика позиції, повинні автоматично коригуватися з урахуванням зміщення антени відносно точки управління судном (CCRP).

Повинна бути передбачена можливість ручного коригування положення зображення для точного суміщення радіолокаційної картини з електронною картою. Таке коригування потребує обережності, оскільки однією з основних переваг режиму radar overlay є можливість незалежної перевірки місця судна.

Також повинна бути забезпечена можливість швидкого вимкнення радіолокаційної інформації – як ARPA-даних, так і радіолокаційного відео – з екрану ECDIS однією дією оператора.

3.7.1. Радар як резервний засіб визначення місця судна (через кореляцію з ENC-об'єктами)

Для забезпечення надійності навігації важливо інтегрувати не лише дані ARPA, а й безпосередньо радіолокаційне зображення з електронною картою. Поєднання радіолокатора з ECDIS – шляхом накладання радіолокаційного зображення або відображення елементів карти на радарі – дозволяє об'єднати

контроль положення судна та спостереження за навігаційною обстановкою в єдиному інформаційному полі.

У такій інтегрованій системі судноводій одночасно отримує дані про положення власного судна, інші судна в районі плавання, а також об'єкти та перешкоди, нанесені на електронну карту. Це суттєво спрощує оцінку обстановки та підвищує оперативність прийняття рішень.

Особливе значення така інтеграція має для контролю місцезнаходження судна. Накладання радіолокаційного зображення фактично забезпечує безперервну перевірку позиції без додаткових дій оператора – за умови наявності достатньої кількості надійних радіолокаційних орієнтирів.

Це також дозволяє здійснювати контроль у реальному часі за роботою електронної системи визначення місця (EPFS), зокрема GPS. Узгодження радіолокаційних відміток із відповідними об'єктами ENC свідчить про коректність роботи системи позиціонування. Натомість систематичне зміщення між радіолокаційною картиною і електронною картою може вказувати на похибку EPFS або невідповідність геодезичної системи координат.

У випадку, коли радіолокаційне зображення і карта мають різну орієнтацію, це може бути ознакою несправності гірокомпаса або компасної системи. Таким чином, радіолокатор може виступати як незалежний резервний засіб визначення місця судна та контролю достовірності навігаційних даних.

В умовах автоматичного керування рухом (Track Control) значення такої перевірки зростає. Поточне положення судна, визначене GPS, постійно відображається на запланованій траєкторії в ECDIS, навіть у випадку, коли фактична похибка позиціонування залишається непомітною. Це може створювати хибне відчуття точності, тоді як накладання радіолокаційного зображення дозволяє своєчасно виявити розбіжності між реальною обстановкою та картографічними даними.

Разом із тим використання радіолокатора як резервного засобу визначення місця має обмеження. У сучасних системах на екрані ECDIS може відображатися масштабована контурна модель судна, розміри якої змінюються відповідно до масштабу карти. Це дозволяє оцінювати положення судна відносно навігаційних об'єктів, наприклад ширини фарватеру. Аналогічні функції реалізуються і в сучасних радіолокаційних індикаторах, зокрема при використанні картографічної підкладки.

Радіолокаційне зображення, накладене на ECDIS, повинно автоматично масштабуватися відповідно до масштабу електронної карти. У протилежному випадку можливе хибне сприйняття відстаней і положення об'єктів.

Водночас точність кореляції радіолокаційного зображення з об'єктами карти обмежується фізичними характеристиками радіолокатора, зокрема шириною променя та тривалістю імпульсу. У результаті радіолокаційні відмітки, наприклад навігаційних буїв, можуть виглядати як значно більші області порівняно з їх умовними позначеннями на карті.

Додатковий вплив мають завади, хибні відмітки та можливі помилки в ідентифікації об'єктів. У сукупності це знижує точність використання

радіолокатора як резервного засобу контролю EPFS і підкреслює необхідність використання традиційних навігаційних методів разом із сучасними засобами.

3.7.2. Радар із картографічною підкладкою (Chart Radar) та організація відображення навігаційної інформації

Відповідно до сучасних експлуатаційних стандартів радіолокаторів, система може забезпечувати відображення векторної електронної карти (ENC) безпосередньо на індикаторі. Це дозволяє здійснювати безперервний контроль положення судна в реальному часі на основі поєднання радіолокаційної та картографічної інформації.

При цьому повинна бути передбачена можливість швидкого вимкнення відображення ENC однією дією оператора. Основним джерелом картографічних даних має бути стандарт S-57. У разі використання неофіційних карт вони повинні мати чітке позначення.

Відображення картографічної інформації повинно забезпечувати мінімально необхідний набір об'єктів, достатній для оцінки безпеки плавання. До таких об'єктів належать межі безпечних глибин для власного судна, ізольовані підводні небезпеки в небезпечних водах, об'єкти, що становлять небезпеку навіть у безпечних водах, а також берегова лінія. Водночас система повинна забезпечувати можливість керування відображенням інформації за рівнями або класами, а не за окремими об'єктами.

Необхідною є також індикація статусу електронної карти, включаючи джерело даних, їх актуальність та стан оновлення. Координатна система карти повинна відповідати системі, що використовується радіолокатором і AIS. Засоби суміщення радіолокаційного та картографічного зображення повинні бути чітко позначені, а також має бути передбачена можливість швидкого скидання відповідних налаштувань.

Радіолокаційна інформація повинна мати пріоритет у відображенні, тоді як картографічна підкладка має подаватися таким чином, щоб не перекривати і не спотворювати радіолокаційну картину. У разі відмови джерела картографічних даних це не повинно впливати на роботу радіолокатора або AIS. Символіка та кольорове оформлення повинні відповідати вимогам ІМО та ІНО.

Особливості відображення ARPA-інформації пов'язані з різною природою даних, що використовуються в радіолокації та ECDIS. Як правило, ARPA-вектори базуються на відносному русі та швидкості відносно води, тоді як ECDIS працює в системі координат, пов'язаній із ґрунтом. У зв'язку з цим, хоча ARPA-цілі можуть відображатися на ECDIS, оцінка ситуації для запобігання зіткненням повинна виконуватися на радіолокаційному індикаторі.

Водночас відображення ARPA-цілей на електронній карті підвищує ситуаційну обізнаність і полегшує просторове сприйняття розташування суден відносно навігаційної обстановки.

У багатьох системах маршрут, заданий в ECDIS, може відображатися на радіолокаційному індикаторі. Як правило, ця функція не залежить від режиму картографічної підкладки і повинна мати можливість швидкого вмикання або вимикання.

Сучасні інтегровані системи прагнуть об'єднати всю навігаційну інформацію на одному дисплеї. Водночас нормативні вимоги передбачають наявність принаймні двох незалежних відображень: радіолокаційного індикатора, де радар є основним джерелом інформації, і картографічного індикатора (ECDIS), де домінує навігаційна інформація.

При цьому картографічні дані, що відображаються на радарі, повинні бути підпорядковані радіолокаційній інформації, а радіолокаційне накладання на ECDIS не повинно перекривати або спотворювати картографічні дані. В інтегрованих системах один і той самий дисплей може виконувати різні функції залежно від режиму, однак у кожному випадку він повинен відповідати вимогам ІМО для відповідного типу індикатора.

Розвиток конфігурації ходового містка та навігаційного обладнання відбувається швидкими темпами. Судноплавні компанії впроваджують різні варіанти організації робочого простору та практики несення вахти. Незважаючи на розвиток концепцій e-navigation і S-mode, спрямованих на уніфікацію інтерфейсів, судноводії змушені адаптувати традиційні методи до нових технологічних умов.

3.8. Оцінка навігаційної обстановки відповідно до МПЗЗС-72

Інтеграція радіолокаційної інформації, AIS та електронних картографічних даних формує для судноводія єдину інформаційну картину. Водночас сама наявність такої картини не гарантує правильності прийнятого рішення. Визначальним є її інтерпретація відповідно до вимог МПЗЗС-72, насамперед Правил 7, 8 та 19, які регламентують оцінку ситуації та вибір маневру.

У сучасних умовах судноводії працює з поєднанням різних джерел інформації. Радіолокатор забезпечує безпосереднє спостереження за обстановкою, ARPA – визначення параметрів руху цілей, AIS – ідентифікацію та передачу навігаційних даних, а ECDIS – просторовий контекст і обмеження плавання. Рішення формується на основі цих даних, однак має відповідати вимогам МПЗЗС, а не особливостям відображення інформації на індикаторах.

Відповідно до Правила 7, судноводії зобов'язані використовувати всі наявні засоби для своєчасного визначення ризику зіткнення. У контексті інтегрованих систем це означає, що радіолокаційні спостереження, результати ARPA-обробки, AIS-дані та картографічна інформація повинні розглядатися у взаємозв'язку. Жодне з цих джерел не є самодостатнім. Збіг параметрів руху, отриманих різними способами, підвищує достовірність оцінки, тоді як їх розбіжність потребує перевірки та додаткового спостереження. Особливу увагу слід приділяти випадкам, коли оцінка ризику ґрунтується лише на AIS-даних або автоматичних розрахунках CPA і TCPA.

Правило 8 вимагає, щоб дії для запобігання зіткненню були своєчасними, рішучими та достатніми. Використання інтегрованих систем не повинно призводити до затримки прийняття рішення внаслідок надмірного аналізу або очікування уточнення даних. Розрахункові параметри, що відображаються на індикаторах, мають допоміжний характер і не можуть замінити оцінку

обстановки в цілому. Маневр повинен виконуватися з урахуванням реальної динаміки судна, впливу зовнішніх факторів і обмежень району плавання.

Умови обмеженої видимості, що регламентуються Правилем 19, вимагають особливої обережності. У таких ситуаціях радіолокатор є основним засобом спостереження, тоді як AIS і ECDIS виконують допоміжну функцію. При оцінці обстановки необхідно враховувати відмінності між відносними параметрами руху, що визначаються радіолокацією, та істинними параметрами, які передаються через AIS. Вплив течії, похибки вимірювання та затримки в оновленні даних можуть призводити до розбіжностей, що потребують правильного трактування. Використання інтегрованих систем не звільняє судноводія від обов'язку підтримувати безпечну швидкість, здійснювати належне спостереження та контролювати обстановку.

Єдина інформаційна картина повинна розглядатися як засіб підтримки прийняття рішень. Вона дозволяє своєчасно виявляти потенційно небезпечні ситуації, зіставляти дані з різних джерел і оцінювати обстановку в просторовому контексті. Водночас її використання пов'язане з ризиком помилок інтерпретації, зокрема надмірної довіри до автоматизованих даних або ігнорування розбіжностей між ними.

У підсумку ефективність інтегрованих навігаційних систем визначається не лише їх технічними можливостями, а передусім здатністю судноводія правильно інтерпретувати інформацію. Саме людський елемент забезпечує оцінку достовірності даних, виявлення невідповідностей та прийняття рішень у відповідності до вимог МПЗЗС. Інтеграція радіолокації, AIS та ECDIS не змінює основних принципів судноводіння, а підвищує вимоги до підготовки та відповідальності судноводія.

РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ РАДІОЛОКАЦІЇ ПРИ РОЗХОДЖЕННІ СУДЕН

Радіолокаційна інформація сама по собі не забезпечує безпеки плавання. Вона лише формує уявлення про навігаційну обстановку. Реальна безпека виникає в момент, коли ця інформація правильно інтерпретується і використовується для прийняття рішення.

У попередньому розділі було розглянуто принципи отримання, обробки та інтеграції радіолокаційних даних, зокрема у поєднанні з AIS та електронними картами. Однак навіть найбільш повна інформаційна картина не має практичної цінності без здатності судноводія діяти на її основі.

Цей розділ присвячений переходу від спостереження до дії. Основна увага зосереджена на використанні радіолокатора під час розходження суден – однієї з найвідповідальніших задач управління судном. Саме в цих умовах поєднуються технічні можливості радіолокаційних засобів, вимоги МПЗЗС-72 та роль людського елемента.

Подальший виклад орієнтований не лише на опис технічних прийомів, але й на формування практичного підходу до оцінки ситуації та вибору маневру, коли від своєчасності й правильності рішення залежить безпека судна.

4.1. Використання радіолокатора у навігації

Радіолокатор у судноводінні слід розглядати як універсальний навігаційний інструмент, який поєднує функції контролю положення судна, орієнтації у просторі та уточнення навігаційної обстановки. Його застосування не обмежується лише виявленням цілей – він формує цілісне уявлення про оточення судна, особливо в умовах обмеженої видимості.

Як уже зазначалося раніше, радар за своєю природою є «грубим» інструментом. Точність визначення місця судна за його допомогою поступається сучасним супутниковим системам позиціювання та іншим електронним засобам, таким як e-LORAN або Galileo. Водночас він має принципову перевагу – повну незалежність від зовнішніх джерел сигналу. За умови справної роботи обладнання та грамотного налаштування радіолокаційна інформація залишається надійним і достатньо точним джерелом даних у межах своєї фізичної природи.

4.1.1. Визначення місця судна

Основними інструментами визначення місця за допомогою радара залишаються електронна лінія пеленга (EBL) та змінне кільце дальності (VRM). У сучасних РЛС ці елементи часто є одними з небагатьох органів керування, що мають «фізичне» виконання у вигляді обертових регуляторів, хоча дедалі частіше їх реалізація переходить у програмну площину.

У більшості систем EBL і VRM можуть переміщуватися за принципом «натисни та перетягни». Альтернативою виступає курсор, який у стандартному режимі відображає дальність і пеленг відносно центру індикатора. У ряді випадків його функціонал розширюється – він може показувати географічні

координати або працювати відносно зміщеної точки відліку, фактично дублюючи можливості зміщених EBL і VRM.

Однак сама технічна можливість вимірювання ще не гарантує точності. Першою умовою залишається правильна ідентифікація об'єкта. Радіолокаційне зображення берегової лінії завжди спотворене впливом ширини променя та тривалості імпульсу. У результаті мис, острів або ділянка узбережжя можуть виглядати інакше, ніж на карті, що створює ризик хибного ототожнення.

Особливо це стосується дрібних орієнтирів. Ізольовані буї або знаки можуть зливатися з іншими цілями, зокрема з малими суднами, і втрачати свою ідентифікаційну цінність.

Додатковий фактор – стан моря. У прибережних районах припливи та хвилювання змінюють реальну конфігурацію берегової лінії. Осушені ділянки можуть відображатися як суходіл, причому їх фактична межа не завжди відповідає карті для конкретного рівня води. Саме тому для визначення місця доцільніше використовувати чіткі, «жорсткі» орієнтири – маяки, скелі або круті береги без зони осушення.

Плавучі навігаційні засоби потребують обережності у використанні. Їх положення не є абсолютно фіксованим і може змінюватися під впливом течій, хвиль або після штормів. Водночас у відкритих районах їх можна використовувати як допоміжні орієнтири, особливо якщо вони обладнані RACON. У будь-якому випадку така інформація повинна перевірятися за навігаційними попередженнями.

Радіолокаційне зображення берегової лінії на великих дистанціях рідко відповідає її реальному положенню. Навіть за наявності високоточної супутникової інформації підхід до берега вимагає обов'язкової перевірки місця за допомогою радара та ехолота.

Ключова проблема полягає в тому, що фактична берегова лінія може знаходитися нижче радіолокаційного горизонту. У такому випадку на екрані відображаються лише підвищені ділянки суходолу, які формують так звану «уявну» берегову лінію.

Це створює ситуацію, коли контур суші, що спостерігається, складно співвіднести з картою, а визначене місце може суттєво відрізнятись від фактичного.

Спроби орієнтації за об'єктами, розташованими в глибині суші, зазвичай не дають надійного результату. Навіть знаючи висоти рельєфу, неможливо однозначно встановити, яка саме ділянка формує радіолокаційну відмітку.

У таких умовах допоміжну роль можуть відігравати лоції або практичні рекомендації інших судноводіїв. Аналіз карти також дозволяє передбачити характер зображення – наприклад, у випадках, коли низька берегова смуга поєднується з різким підйомом рельєфу вглиб суші.

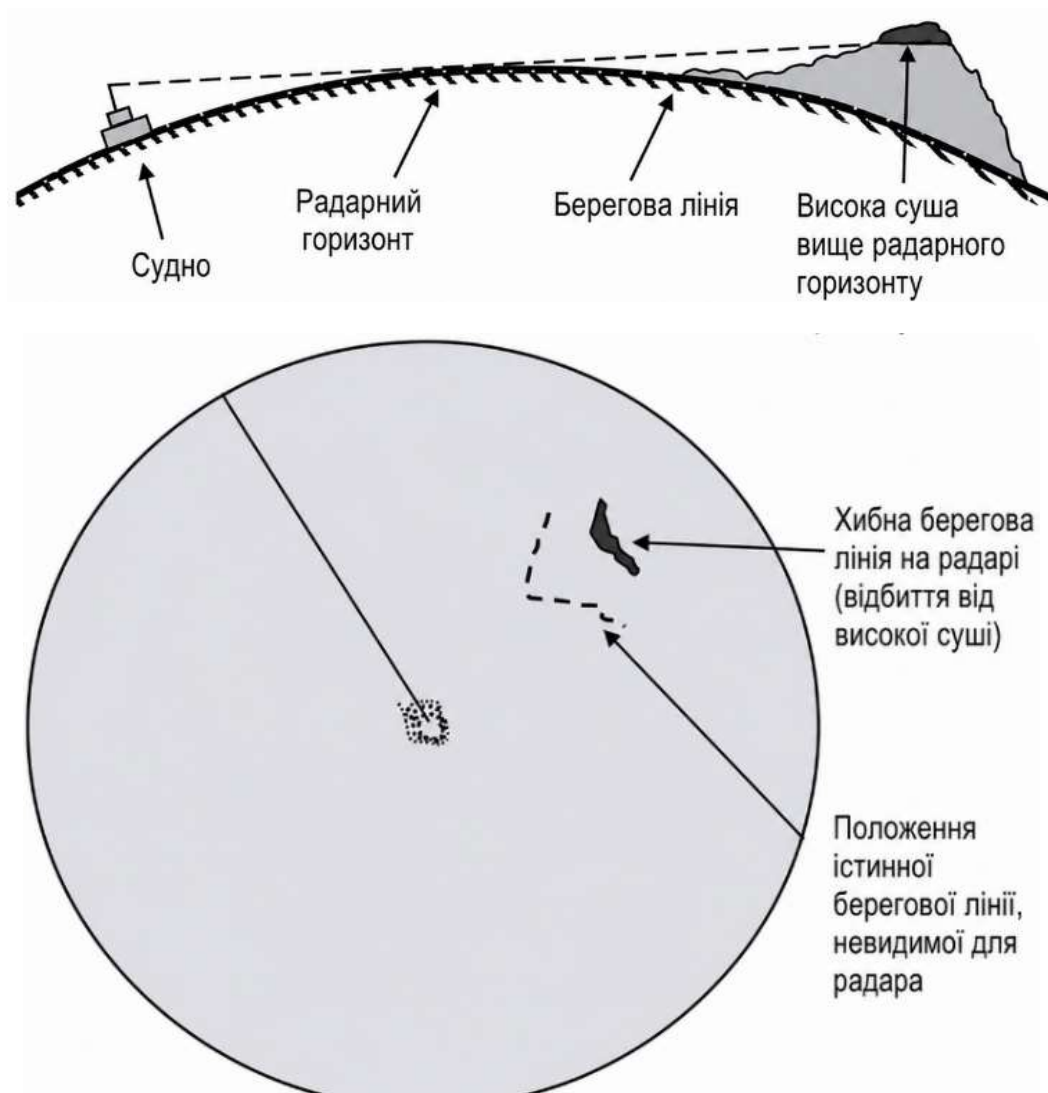


Рисунок 4.1 – Відображення суходолу, розташованого нижче радіолокаційного горизонту

4.1.2. Прибережне плавання (Coastal Navigation)

Навіть на невеликих дистанціях берег може відображатися оманливо. Низька прибережна смуга може не потрапляти в радіолокаційне поле, тоді як об'єкти за нею – дороги, насипи або забудова – формують чіткий контур, який візуально повторює берегову лінію.

Це одна з небезпечних ситуацій: вахтовий помічник може зробити висновок, що судно знаходиться далі від берега, ніж насправді.

У припливних районах радіолокаційне зображення берегової лінії змінюється разом із рівнем води, іноді досить суттєво.

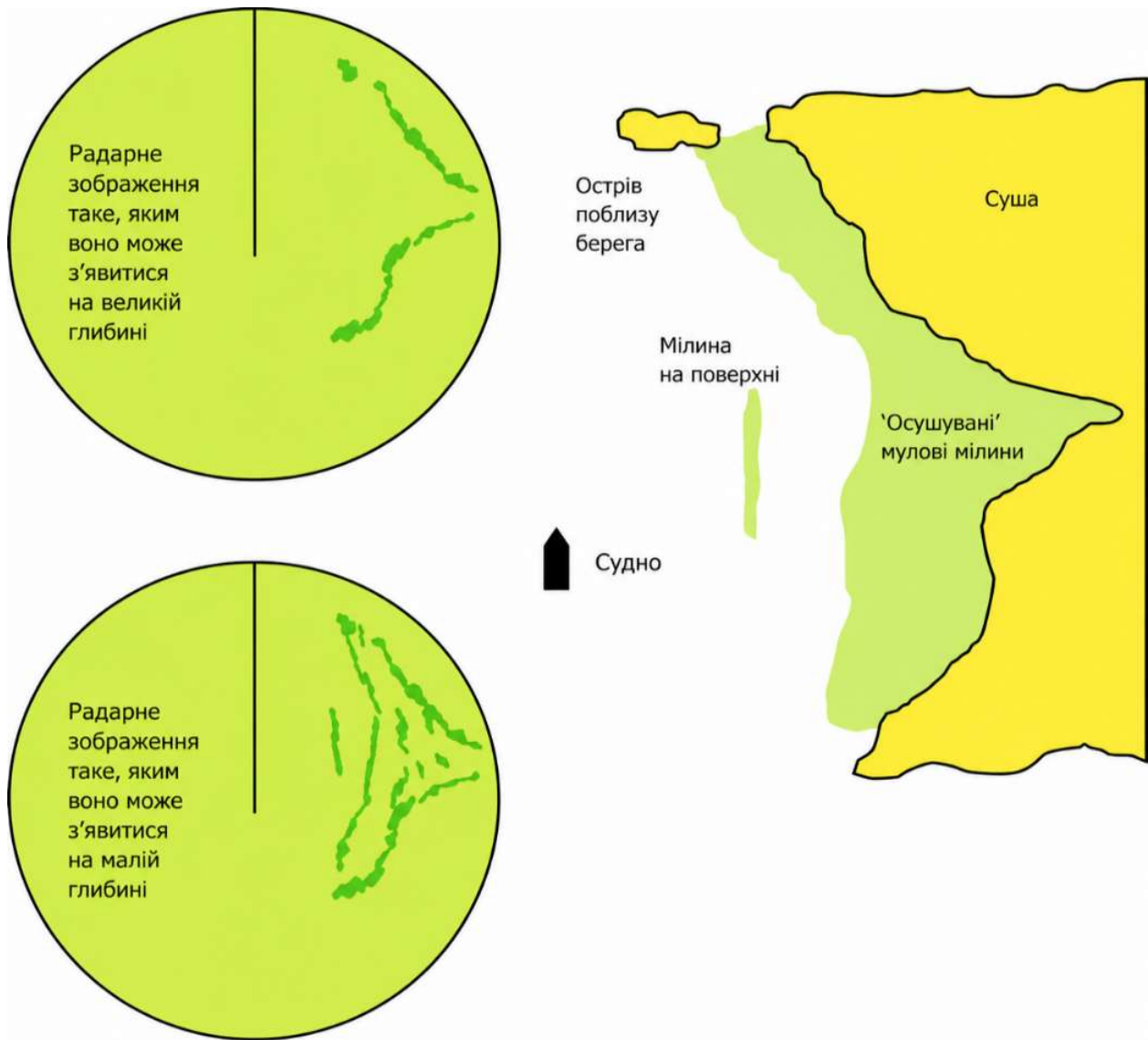


Рисунок 4.2 – Зміна відображення берегової лінії на радарі залежно від рівня води

Наприклад, острів, який на карті виглядає ізольованим, може зливатися з материком при низькій воді або за наявності прибою. Протоки можуть «зникати», а мілини – навпаки, не проявлятися при високому рівні води.

Прибійні хвилі формують інтенсивні радіолокаційні відмітки, які додатково спотворюють контур узбережжя. Навіть ті мілини, що не виступають над поверхнею, можуть змінювати картину за рахунок хвильових процесів.

У цих умовах вирішальним стає не саме зображення, а його інтерпретація. Накладення радару на електронну карту може бути корисним, але в складних районах воно іноді створює ілюзію точності. Жодна електронна система не замінює професійного аналізу судноводія, який співвідносить радіолокаційні дані з картою та реальною ситуацією.

4.1.3. Визначення пеленгів за допомогою радара (Bearings by Radar)

Під час вимірювання пеленга на невеликий об'єкт основним джерелом похибки є ширина радіолокаційного променя. Саме вона визначає «розмитість»

відмітки на екрані і, відповідно, невизначеність її центру. Тому для «точкової» цілі електронна лінія пеленга (EBL) повинна проходити через центр зображення.

Інша ситуація виникає при роботі з протяжними об'єктами, такими як мис або край суходолу. У цьому випадку відмітка формується не від геометричної лінії берега, а від її радіолокаційного образу. Тому EBL доцільно зміщувати вглиб зображення приблизно на половину ширини променя, що зазвичай становить близько $0,5^\circ$. Це дозволяє частково компенсувати систематичну похибку.

Положення судна може бути визначене за трьома пеленгами на об'єкти, рознесені по горизонту, за класичною схемою перетину ліній положення. Однак у сучасній практиці така побудова не завжди виконується з достатньою зручністю, оскільки багато електронних картографічних систем не забезпечують інтуїтивних засобів для швидкого нанесення кількох пеленгів одночасно.

Отриманий результат завжди потребує критичної оцінки. Навіть незначна похибка вимірювання може призводити до суттєвого зміщення місця. Наприклад, помилка у 1° на дистанції 5 миль дає відхилення близько 161 м, що в обмежених умовах може мати принципове значення.

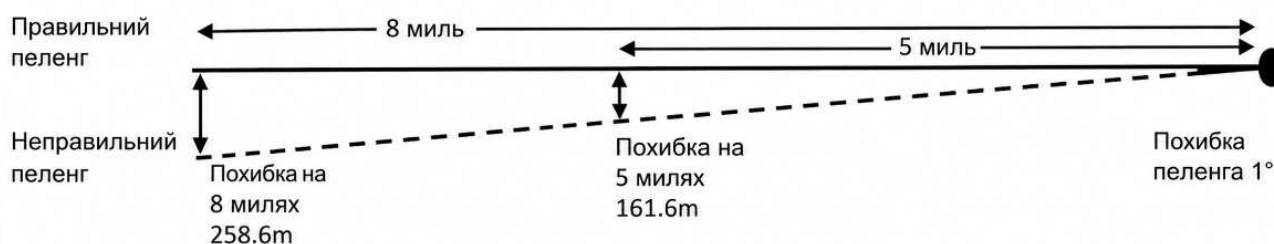


Рисунок 4.3 – Залежність похибки пеленга від відстані до об'єкта

Зі збільшенням відстані до об'єкта вплив похибки зростає, тому за можливості слід використовувати ближчі орієнтири. Це просте правило має практичне значення: навіть за однакової точності вимірювання геометричний ефект помилки буде меншим.

Вимірювання дальності, як правило, забезпечує вищу точність, ніж вимірювання пеленга, і менш залежить від відстані. Основним обмеженням у цьому випадку є тривалість радіолокаційного імпульсу. При імпульсі 1 мкс точність становить близько 300 м, що характерно для великих дальностей (24–48 миль). На малих дистанціях, при тривалості імпульсу близько 0,05 мкс, точність може досягати 15 м.

Під час вимірювання дальності кільце VRM повинно проходити по передній, тобто найближчій до судна межі відмітки цілі. Важливо, щоб воно не лише торкалося відбиття, а саме накладалося на його край. Для малих «точкових» об'єктів відмітка формується симетрично відносно реального положення, однак у практиці вимірювання орієнтуватися слід саме на передню межу сигналу.

У визначенні місця судна за допомогою пеленгів і дальностей діє узагальнене правило: чим ближче орієнтир, тим вища точність. Разом із тим під час виконання серії вимірювань необхідно враховувати власний рух судна.

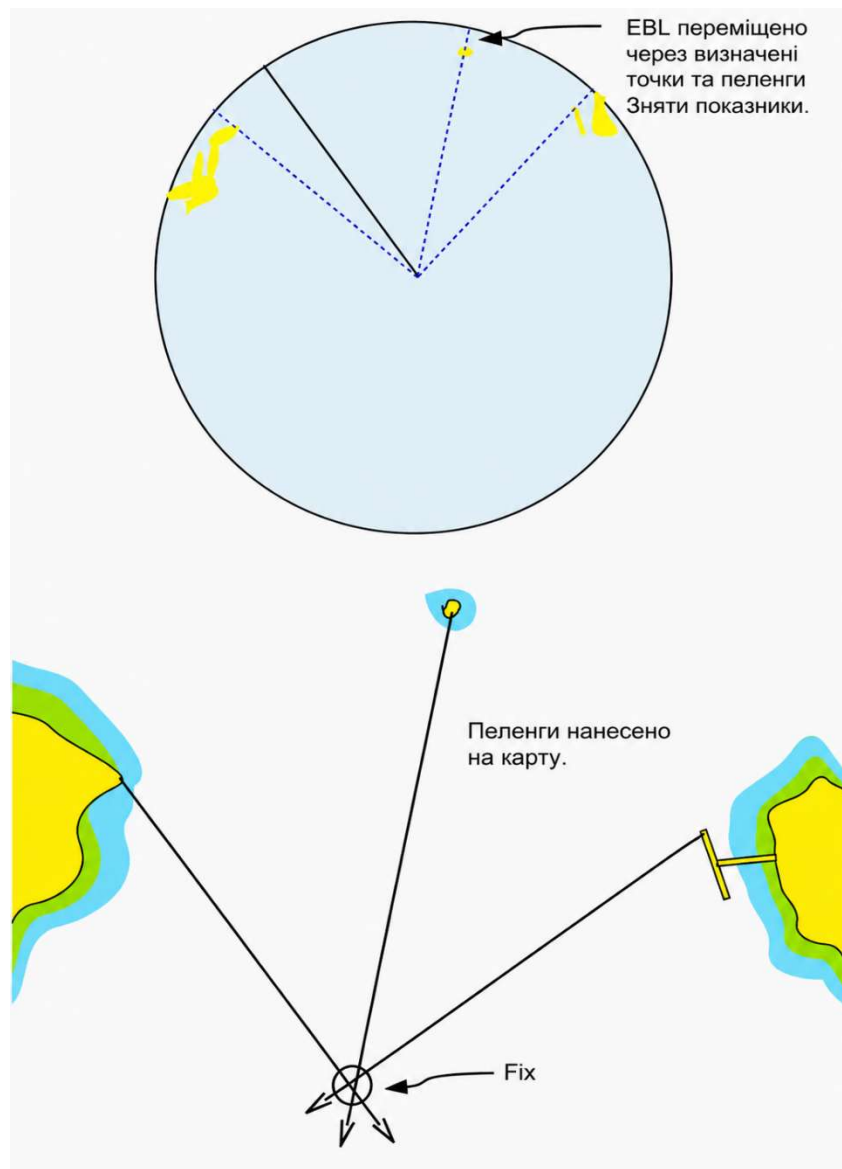


Рисунок 4.4 – Визначення місця судна за трьома пеленгами (EBL)

Параметр, який змінюється найшвидше, слід вимірювати останнім. Це дозволяє зменшити сумарну похибку, пов'язану з переміщенням судна під час спостережень. Наприклад, при взятті трьох пеленгів спочатку доцільно виконати вимірювання на об'єкти, розташовані попереду і позаду по курсу, де зміни відбуваються повільніше, а пеленг на об'єкт у районі траверзу – в останню чергу.

Окремо слід зазначити, що можливості сучасних електронних картографічних систем щодо побудови місця за кількома дальностями або пеленгами залишаються обмеженими. Це стосується як швидкості виконання операцій, так і наочності результату.

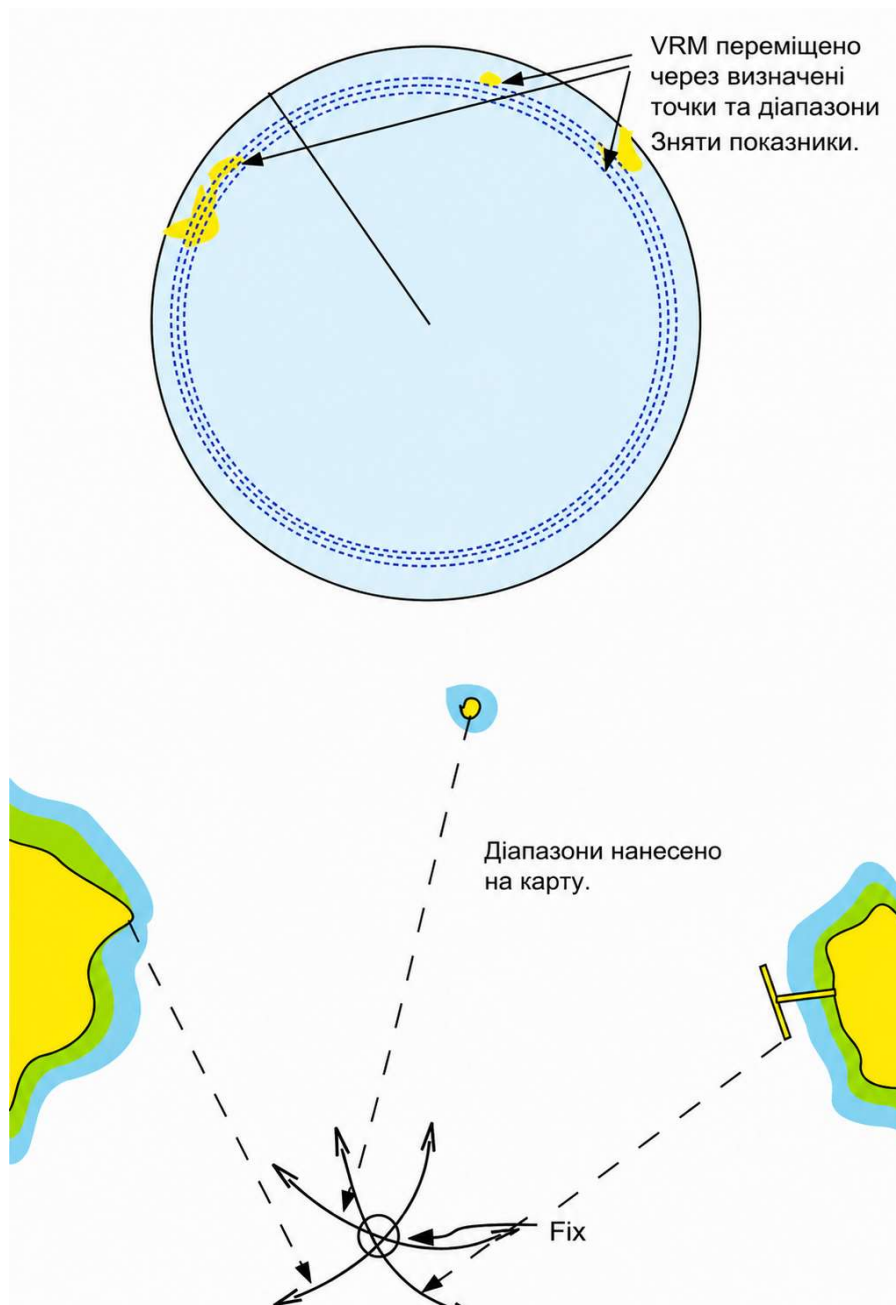


Рисунок 4.5 – Визначення місця судна за трьома дальностями (VRM)

4.1.4. Накладання радарного зображення (Chart Overlay)

Можливість поєднання радіолокаційного зображення з електронною навігаційною картою стала невід'ємною частиною сучасних навігаційних комплексів і поступово переходить у категорію обов'язкових функцій. У цьому режимі радарне зображення та електронна карта працюють в єдиній системі координат і масштабі, що дозволяє безпосередньо співвідносити відбиття з картографічними об'єктами.

Технічно така інтеграція базується на використанні спільної геодезичної основи, синхронізації навігаційних даних та правильному визначенні положення контрольної точки судна (CCRP). За умови коректної роботи всіх елементів

система формує узгоджену картину, у якій радарне зображення накладається на карту з високим ступенем відповідності.

Окрім класичного накладання, використовується режим *chart radar*, коли елементи карти відображаються як фон під радарним зображенням. У результаті судноводій отримує єдине візуальне поле, де поєднуються вимірювана інформація (радар) і розрахункова модель (карта).

На практиці це створює відчуття значного підвищення надійності навігації. Якщо радарні відбиття узгоджуються з відповідними об'єктами карти, виникає логічний висновок про правильність визначення місця судна.

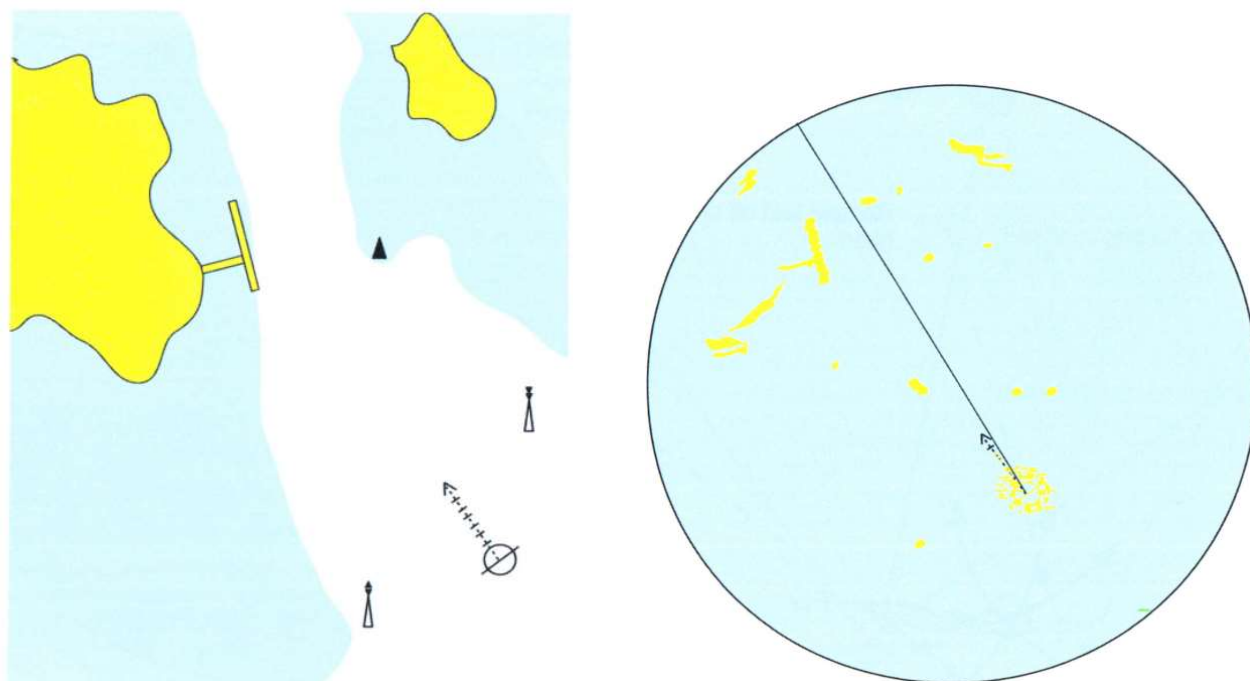


Рисунок 4.6 – Зображення електронної навігаційної карти та радіолокаційне зображення тієї ж навігаційної обстановки

Як видно з прикладу, відбиття від причалу, берегової лінії та окремих навігаційних об'єктів добре узгоджуються з їх картографічним положенням. Це спрощує ідентифікацію цілей та дозволяє швидко оцінити своє місце.

Однак така узгодженість не є безумовною і може порушуватися навіть за незначних відхилень у роботі окремих елементів системи.

Причини виникнення помилок суміщення можуть бути різними, але їх об'єднує спільна особливість – вони мають систематичний характер і не завжди очевидні для оператора.

Однією з найпоширеніших причин є похибка супутникового позиціонування. Навіть незначне зміщення координат призводить до відповідного зсуву картографічної основи відносно радарного зображення. У результаті виникає ситуація, коли радар показує правильне положення об'єктів, а карта – зміщене.

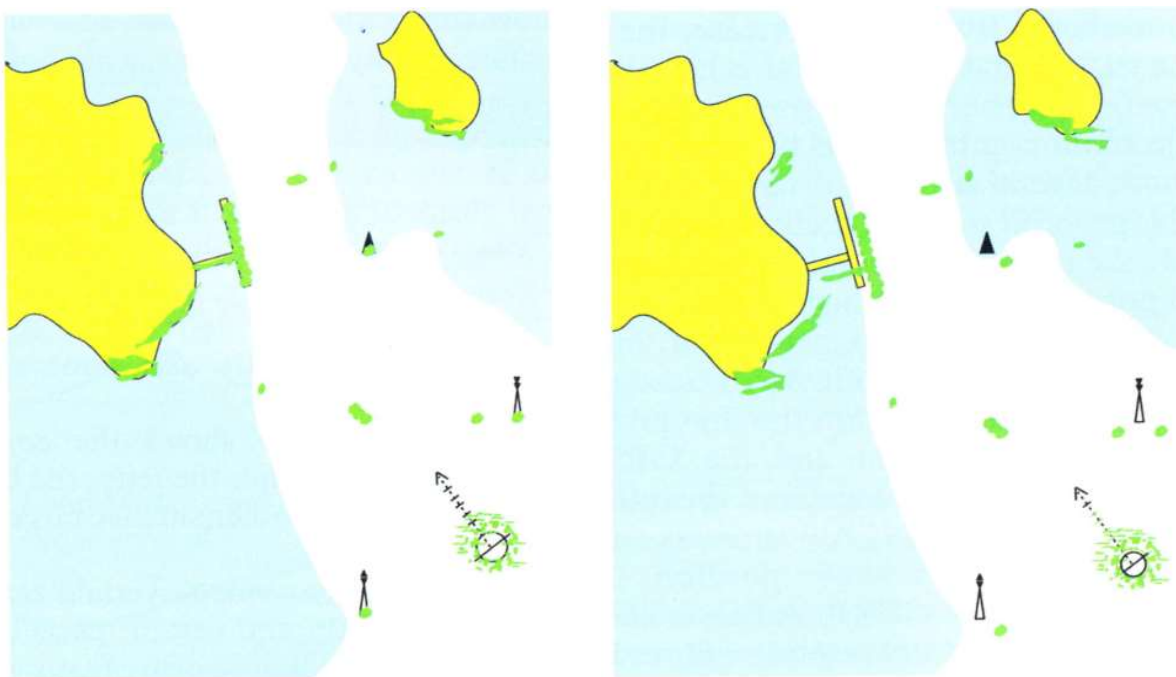


Рисунок 4.7 – Накладання радарного зображення на електронну карту та помилка суміщення радарного зображення з картою (помилка позиціонування)

Іншим джерелом помилок є некоректна геодезична прив'язка, зокрема невідповідність використовуваної системи координат стандарту WGS84. У таких випадках навіть за правильно визначених координат виникає систематичне зміщення між зображеннями.

Окрему роль відіграє правильне визначення положення CCRP. Якщо контрольна точка судна задана неправильно, то навіть за ідеальної роботи навігаційних датчиків накладання буде виконуватися з постійною помилкою.

У всіх цих випадках принципово важливо розуміти відмінність між джерелами інформації. Радіолокатор забезпечує безпосереднє вимірювання дальності та пеленга до об'єктів, тоді як електронна карта відображає їх розрахункове положення. Тому при виникненні розбіжностей саме радарне зображення повинно розглядатися як первинне джерело для оцінки навігаційної обстановки.

Додаткову складність створює інтерпретація відбиттів. У складній обстановці, за наявності численних малих цілей або перешкод, навіть при правильному накладанні можливі помилки ідентифікації. Наприклад, відбиття від буя може бути помилково прийняте за інший об'єкт, що особливо небезпечно при прийнятті навігаційних рішень.

Таким чином, накладання радарного зображення не може розглядатися як самодостатній засіб перевірки місця судна. Воно є допоміжним інструментом, ефективність якого визначається здатністю судноводія критично оцінювати отриману інформацію.

Особливої уваги потребує використання overlay як засобу вторинної перевірки супутникового позиціонування. У цьому випадку існує ризик формування хибної впевненості: помилка координат призводить до зміщення

карти, яке візуально сприймається як узгоджене з радаром, якщо оператор не аналізує ситуацію критично.

У підсумку можна зазначити, що накладання радарного зображення значно підвищує зручність сприйняття навігаційної обстановки, але одночасно висуває підвищені вимоги до професійної підготовки судноводія. Саме людський елемент визначає, чи стане цей інструмент засобом підвищення безпеки, чи джерелом додаткового ризику.

4.1.5. Обмеження та особливості використання накладання радарного зображення

Незважаючи на очевидні переваги накладання радарного зображення, його практичне використання пов'язане з низкою обмежень, які не завжди є очевидними, але можуть істотно впливати на правильність оцінки навігаційної обстановки.

Перш за все, коректність суміщення визначається вибором єдиної опорної точки – CCRP. Саме відносно цієї точки виконуються всі позиційні побудови в системі. При цьому антена радара, антена супутникової навігації та пост управління можуть бути рознесені у просторі на значні відстані. У процесі налаштування ці геометричні відмінності зводяться до єдиної координатної основи. Якщо ж параметри CCRP задані некоректно хоча б для одного з елементів системи, виникає систематична помилка суміщення радарного зображення з картою. Як правило, вона проявляється на великих масштабах і особливо помітна при значному рознесенні антен.

Навіть за правильно визначеної CCRP суміщення не є ідеальним. Розмір радарного відбиття, який формується під впливом тривалості імпульсу та ширини променя, призводить до того, що зображення об'єкта має більші геометричні розміри, ніж сам об'єкт. Це особливо характерно для радарів S-діапазону або для X-діапазону при використанні довгих імпульсів. У результаті контур відбиття не співпадає точно з контуром об'єкта на карті.

Додатковим фактором є відстань до орієнтирів. При використанні віддалених об'єктів навіть невелике розширення відбиття призводить до суттєвого зниження точності суміщення. У таких умовах судно може знаходитися поблизу небезпек, тоді як накладене зображення створює ілюзію достатньої віддаленості від них.

Ключове значення має правильна ідентифікація радарних відбиттів. У багатьох випадках конфігурація узбережжя, розташування буїв або причалів дозволяє легко співставити їх з картою. Однак у районах із великою кількістю однотипних об'єктів, наприклад у буєних каналах, виникає ризик хибної інтерпретації. У таких ситуаціях помилка супутникового позиціонування може призвести до того, що радарні відбиття виглядатимуть узгодженими з картою, але відповідатимуть іншим об'єктам.

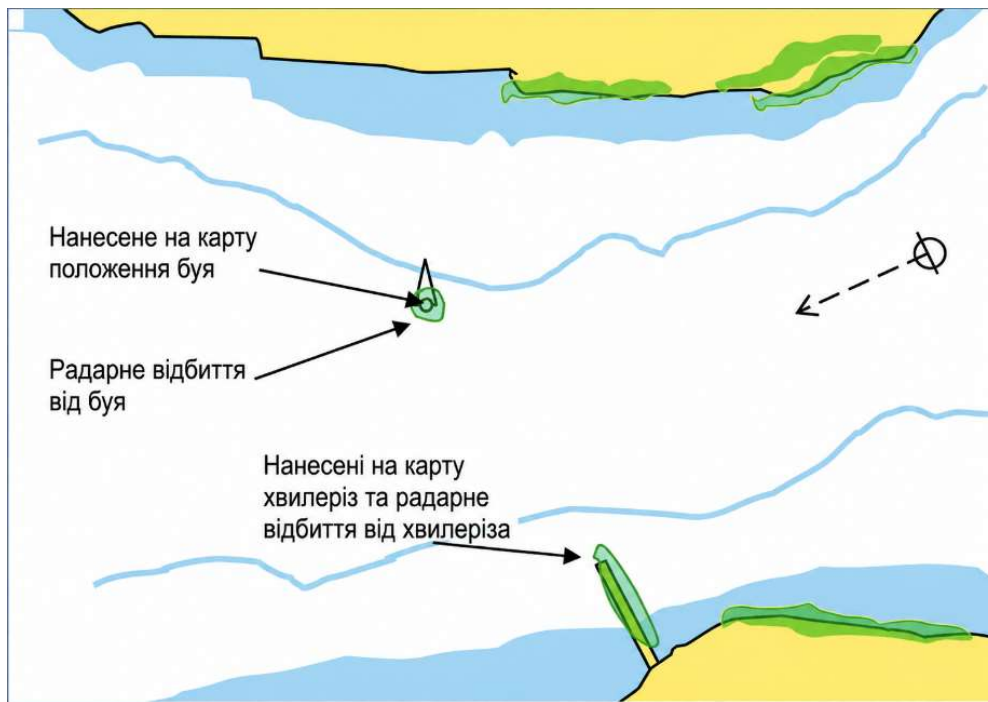


Рисунок 4.8 – Вплив розміру радарного відбиття на відповідність об’єктів електронної карти

Суттєвий вплив на якість суміщення мають хибні відбиття та завади. Морські та дощові перешкоди, а також паразитні сигнали можуть настільки ускладнювати радарне зображення, що його стає важко або неможливо коректно співставити з картою. У таких умовах зображення перевантажується, і судноводій втрачає ситуаційну обізнаність. Часто це призводить до вимкнення накладання, що, у свою чергу, позбавляє систему функції резервної перевірки місця. У цьому проявляється своєрідна «чесність» радара – він не приховує погіршення якості інформації.

Подібний ефект спостерігається і при інтенсивному русі суден. Відбиття від численних цілей можуть накладатися на картографічні елементи, ускладнюючи сприйняття та інтерпретацію обстановки. Особливо це характерно для районів із скупченням малих суден або риболовних флотилій.

Окрім цього, можливі й інші джерела похибок. Неправильне визначення положення антени відносно CCRP призводить до систематичного зміщення зображення. Невирівняна курсова риска викликає азимутальну похибку, а помилки у часовій розгортці впливають на масштаб радарного зображення, що призводить до його невідповідності масштабу карти.

Окремо слід розглянути режим *chart radar*. Відповідно до вимог ІМО, картографічні елементи, що відображаються на радарі, не повинні домінувати над радарним зображенням. Їх яскравість і контраст повинні бути знижені таким чином, щоб не перекривати відбиття цілей. Крім того, кількість відображуваних об’єктів обмежується, оскільки надмірна деталізація карти може ускладнити протиаварійну прокладку і призвести до помилок у прийнятті рішень.

Призначення режиму *chart radar* полягає насамперед у підвищенні ситуаційної обізнаності при оцінці руху суден і запобіганні зіткненням.

Визначення місця судна повинно виконуватися за допомогою електронної карти з урахуванням усіх доступних джерел інформації.

Беручи до уваги зазначені особливості, можна зробити висновок, що накладання радарного зображення є потужним, але водночас потенційно небезпечним інструментом. Його ефективність визначається не стільки технічними характеристиками системи, скільки здатністю судноводія розуміти обмеження цього методу і критично оцінювати отриману інформацію.

4.1.6. Паралельне індексування (Parallel Indexing, PiL)

Однією з найбільш ефективних практик використання радіолокатора при прибережному плаванні та лоцманському проведенні є паралельне індексування. Цей метод був швидко прийнятий у військово-морській навігації ще на ранніх етапах розвитку радарів, однак у торговельному флоті його впровадження відбувалося поступово.

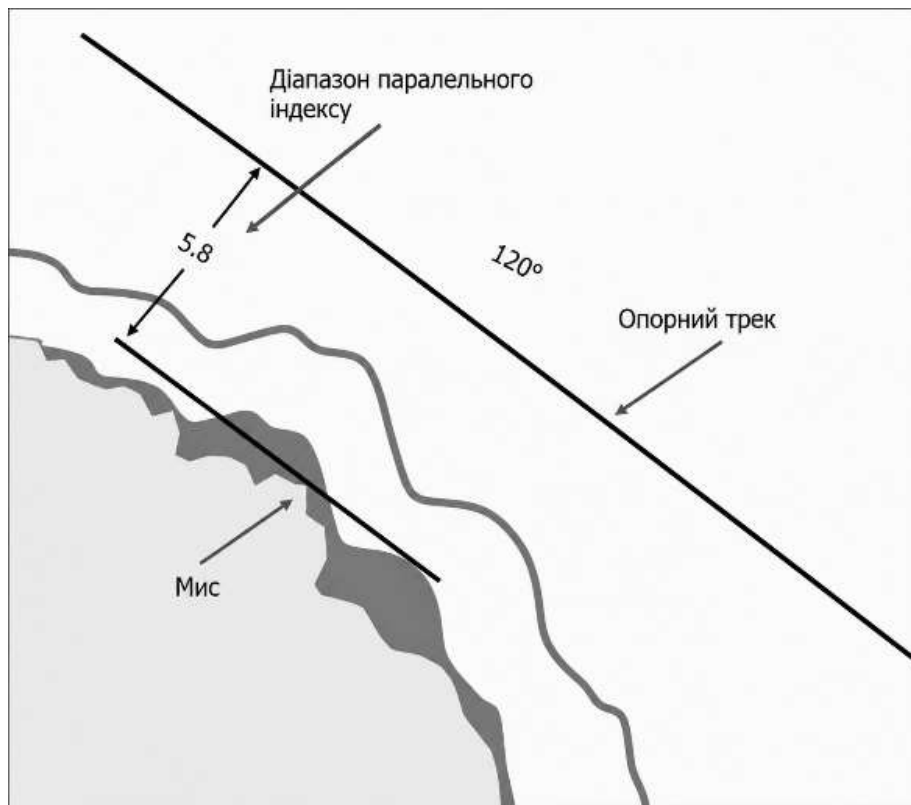
Історично паралельне індексування виконувалося за допомогою механічних пристроїв та так званого reflection plotter, що дозволяв наносити побудови безпосередньо на екран радара за допомогою спеціального олівця. Такий підхід вимагав гіростабілізації та був прив'язаний до конкретного масштабу дальності, що суттєво обмежувало його гнучкість.

Сучасні радіолокаційні станції мають електронні індексні лінії, які можуть встановлюватися на будь-якому пелензі та на будь-якій відстані від центру індикатора. Як правило, доступно декілька таких ліній, що дозволяє одночасно контролювати різні аспекти руху судна. У стандартному режимі вони залишаються фіксованими відносно істинного напрямку, хоча в окремих системах можливий і відносний режим, при якому лінії обертаються разом із курсом судна. Це ще раз підкреслює необхідність глибокого знання конкретного обладнання.

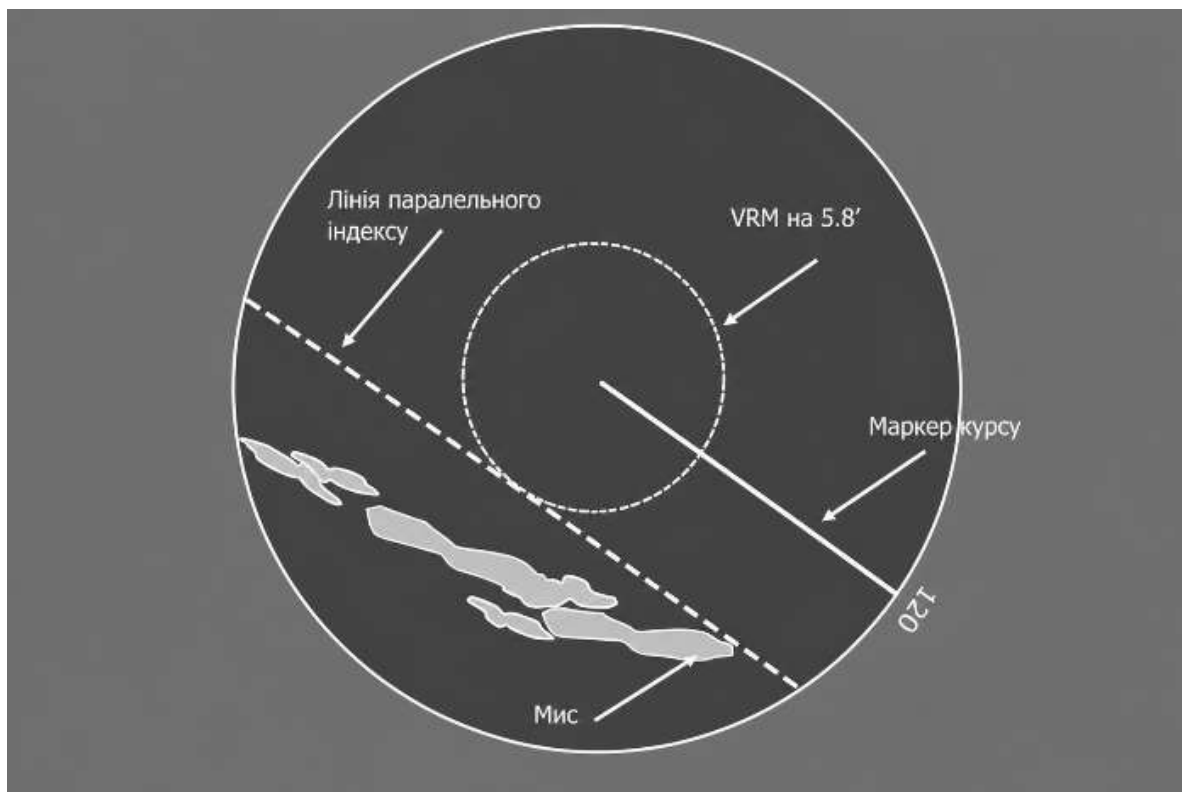
Найпростішим і водночас найнаочнішим застосуванням паралельного індексування є утримання судна на заданій відстані від берегової лінії або окремого орієнтира. Якщо, наприклад, траса прокладена на відстані 5 миль від мису, індексна лінія встановлюється на відповідній відстані з потрібного борту. Подальше управління зводиться до утримання радарного відбиття об'єкта на цій лінії.

При цьому судно не обов'язково рухається точно за геометричним напрямком траси. Під впливом вітру або течії виникає знос, який компенсується зміною курсу. Саме положення відбиття відносно індексної лінії дозволяє миттєво оцінити величину відхилення і своєчасно внести корекцію. У цьому полягає головна перевага методу – він працює в реальному часі і не потребує побудови послідовних визначень місця.

Використання слідів (trails) додатково підсилює ефективність паралельного індексування. За їх формою можна одразу визначити характер руху судна: віддалення від траси, рух паралельно їй або повернення до неї. Це також дає уявлення про величину зносу та необхідну поправку курсу.

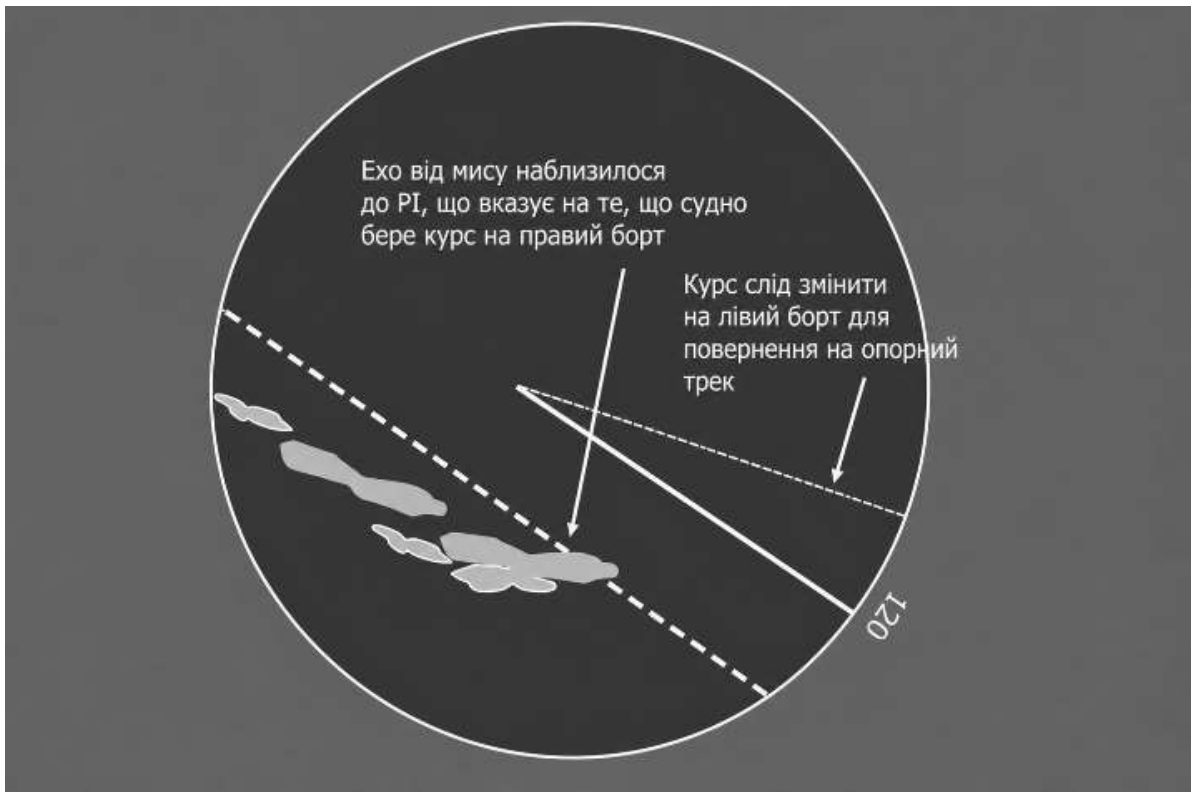


а)

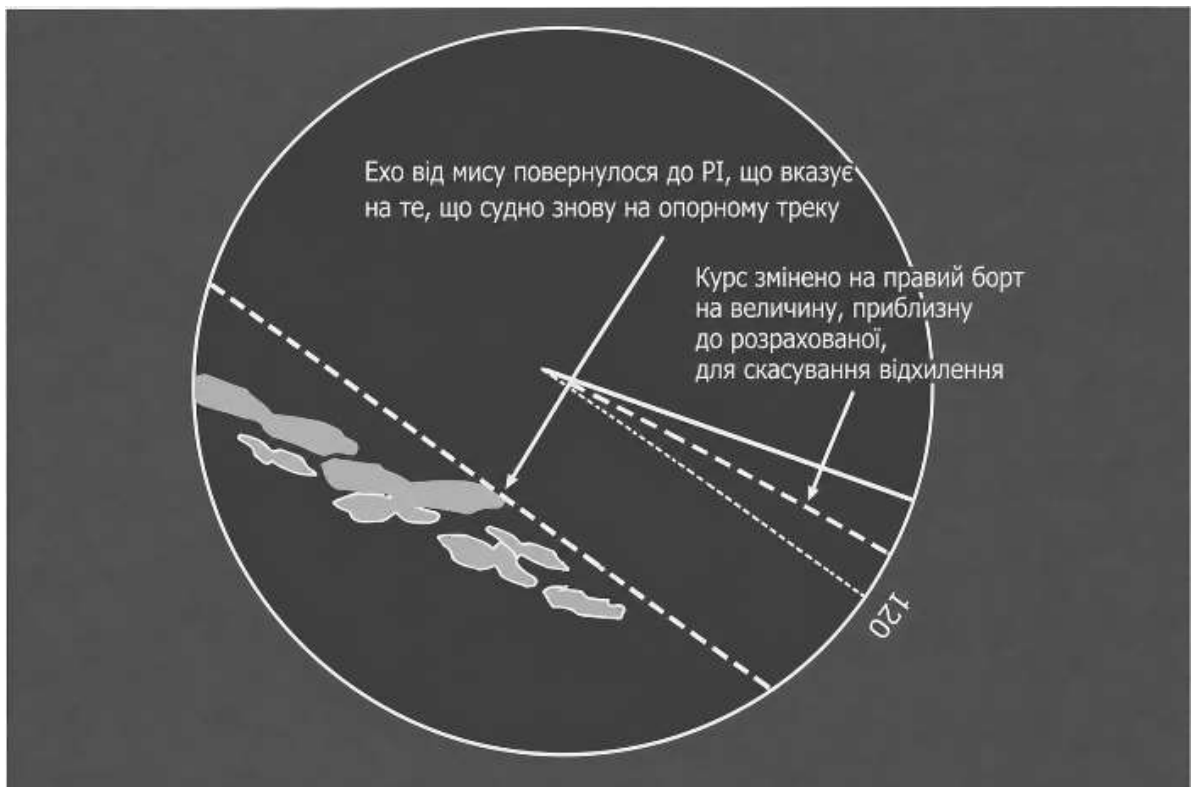


б)

Рисунок 4.9 – Використання паралельних індексних ліній для контролю положення судна та компенсації зносу:
а – побудова паралельних індексних ліній; б – відображення паралельної індексної лінії на екрані радара



в)



г)

Рисунок 4.9 (Продовження) – Використання паралельних індексних ліній для контролю положення судна та компенсації зносу:
 в – паралельна індексна лінія, що показує знос судна; г – паралельна індексна лінія, що показує результат коригування курсу

За умови правильної ідентифікації орієнтира і коректного встановлення PiL цей метод забезпечує практично миттєву інформацію про відхилення судна від запланованої траси. Водночас слід пам'ятати, що він не дає уявлення про просування судна вздовж маршруту, тому повинен використовуватися разом з іншими методами визначення місця.

Навіть при наявності безперервного позиціонування на електронній карті паралельне індексування не втрачає своєї актуальності. Його головна перевага полягає в незалежності від зовнішніх джерел сигналу. Будь-яка розбіжність між положенням на карті та фактичним положенням відбиттів стає одразу помітною, хоча в окремих випадках помилка може залишатися непоміченою, якщо її напрямок збігається з напрямком індексної лінії.

У практиці судноводіння часто використовується також обмежувальна (clearing) індексна лінія, яка задає мінімально допустиму відстань до небезпеки. Її побудова має особливість: вона відкладається від об'єкта у зворотному напрямку відносно основної траси і може візуально розташовуватися з протилежного боку від основної PiL.

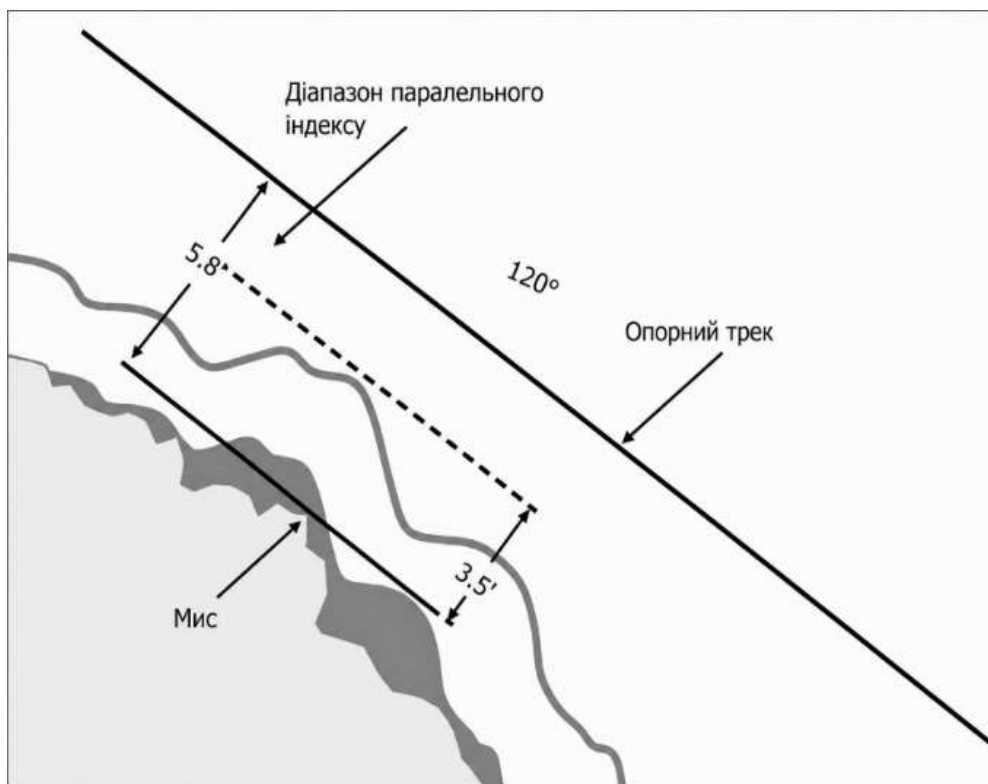
Паралельне індексування є невід'ємною частиною так званого «сліпого» лоцманського проведення. Воно використовується для підготовки точок зміни курсу (wheel-over), контролю проходження вузькостей і забезпечення безпечного маневрування в обмежених водах (рис. 4.11).

Важливо підкреслити, що всі такі побудови повинні виконуватися заздалегідь у межах плану переходу. Спроби формувати їх безпосередньо під час руху створюють високий ризик помилки. Обмежена кількість доступних індексних ліній на радарі вимагає їх послідовного використання та переналаштування у процесі переходу, що повинно бути чітко відображено в робочих матеріалах штурмана.

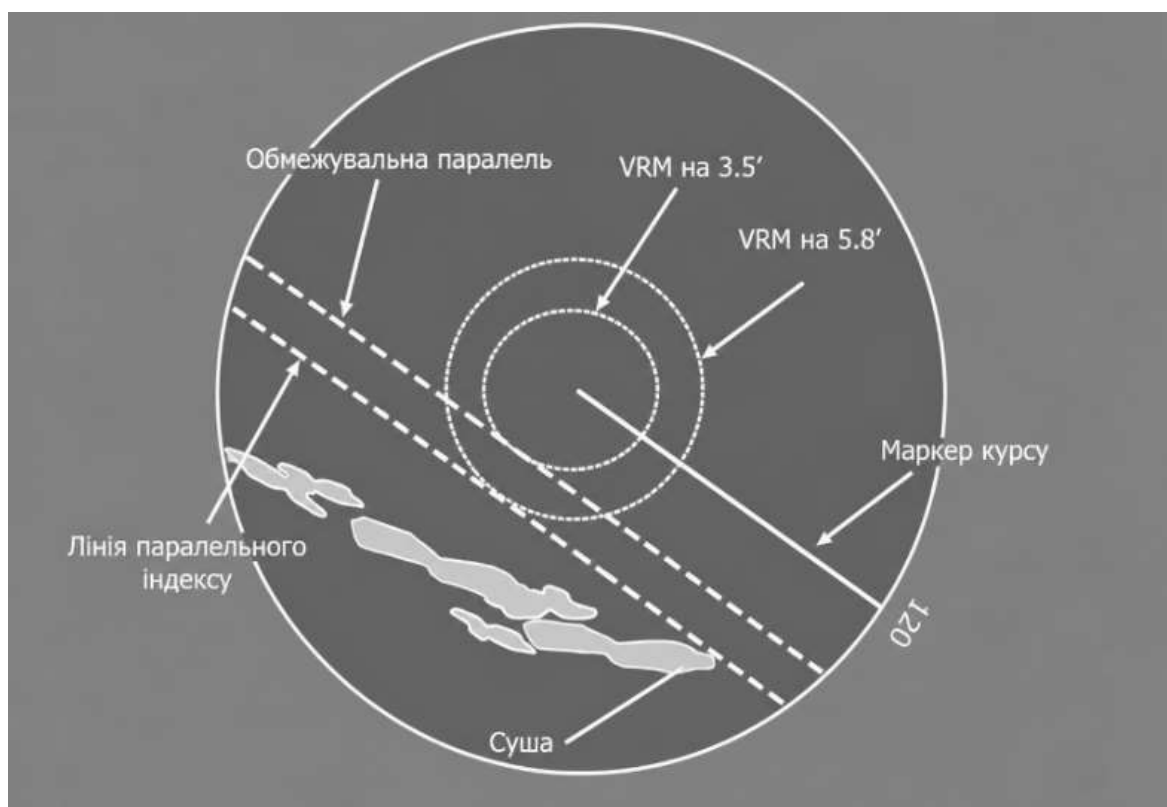
Таким чином, паралельне індексування є не просто допоміжною функцією радара, а повноцінним інструментом управління рухом судна. Його ефективність визначається не лише технічними можливостями обладнання, а передусім здатністю судноводія правильно інтегрувати цей метод у загальну систему навігаційного контролю.

4.1.7. Навігаційні лінії та радіолокаційні карти

Окрім класичних засобів радіолокаційного контролю, сучасні радіолокаційні станції часто надають можливість створення навігаційних ліній або навіть спрощених «карт» безпосередньо на екрані радара. На відміну від паралельного індексування, ці побудови, як правило, мають географічну прив'язку і відображають елементи, пов'язані з реальною навігаційною обстановкою, наприклад схеми розподілу руху або підхідні канали.

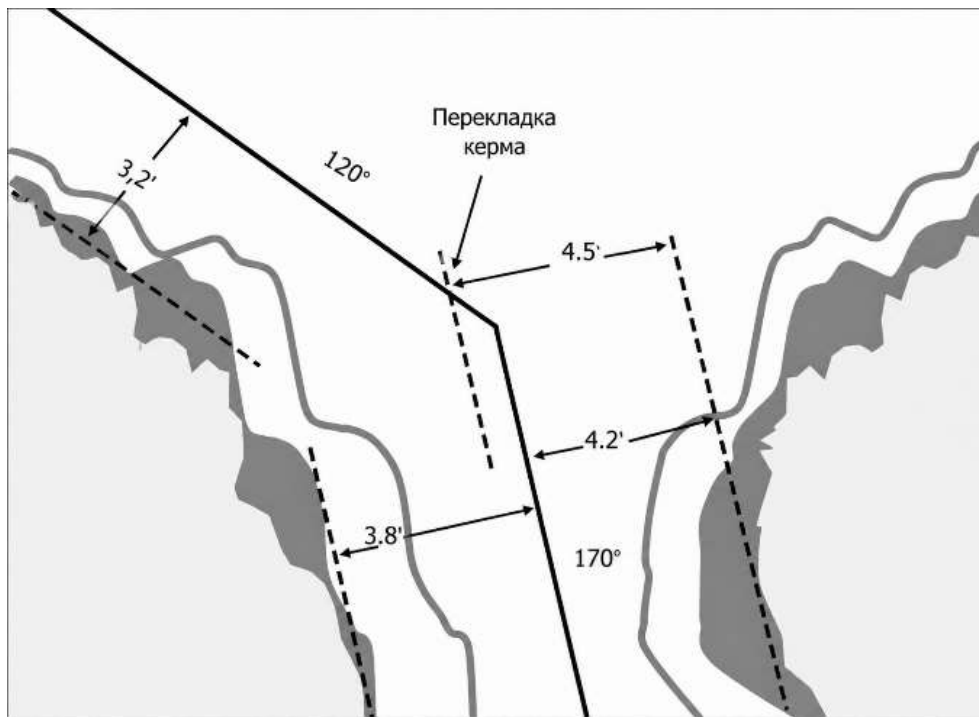


а)

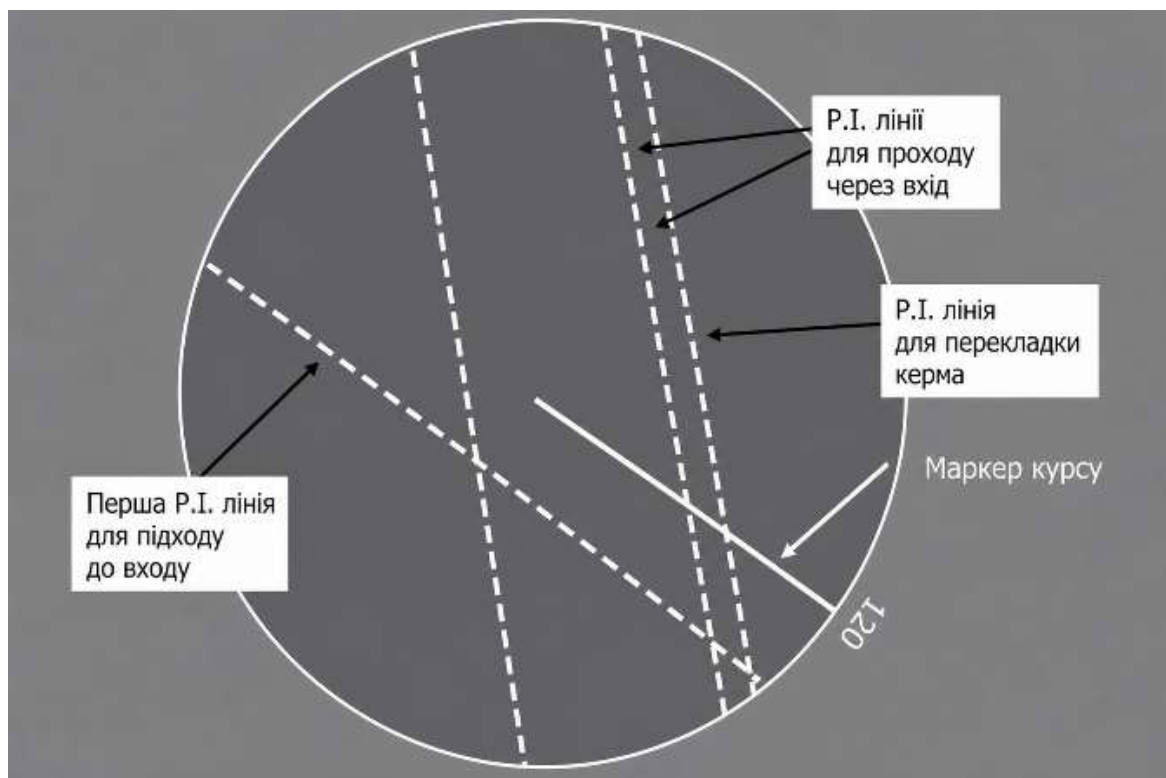


б)

Рисунок 4.10 – Основна та обмежувальна паралельні індексні лінії:
а – паралельна індексна лінія та обмежувальна (clearing) PiL; б – відображення паралельної та обмежувальної індексних ліній на екрані радара

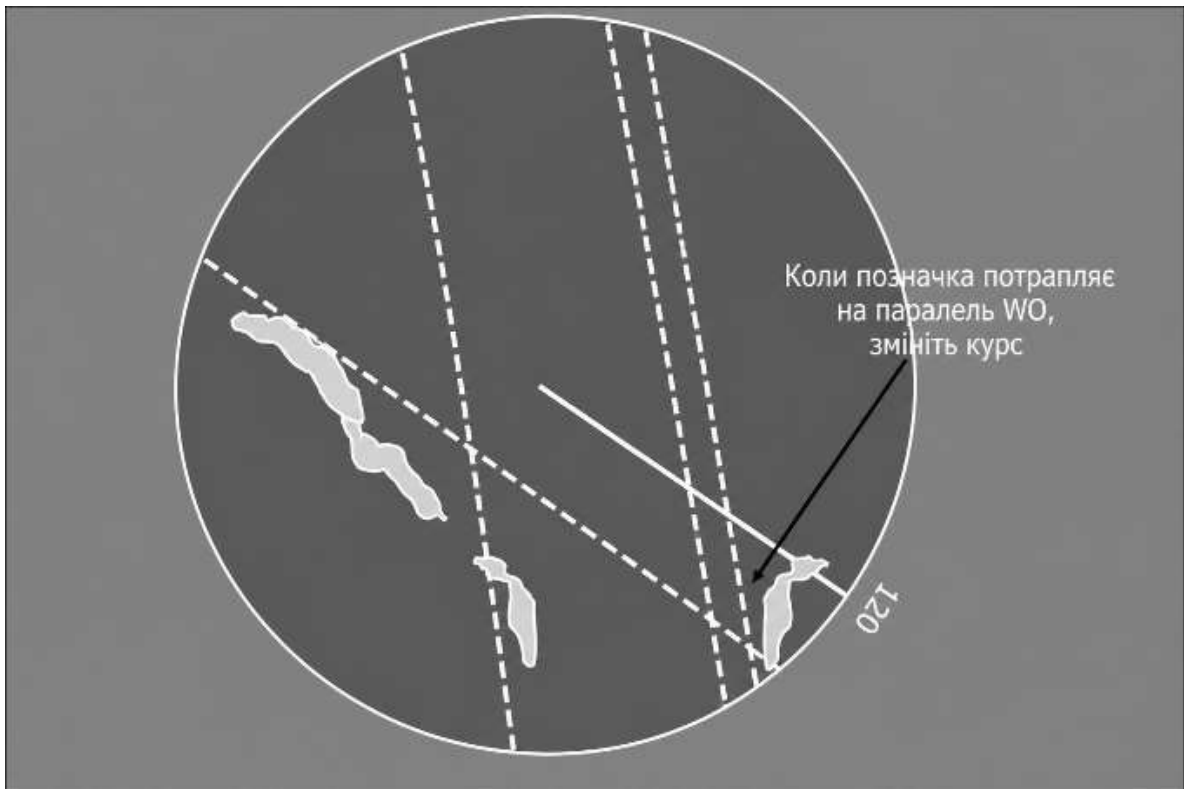


а)

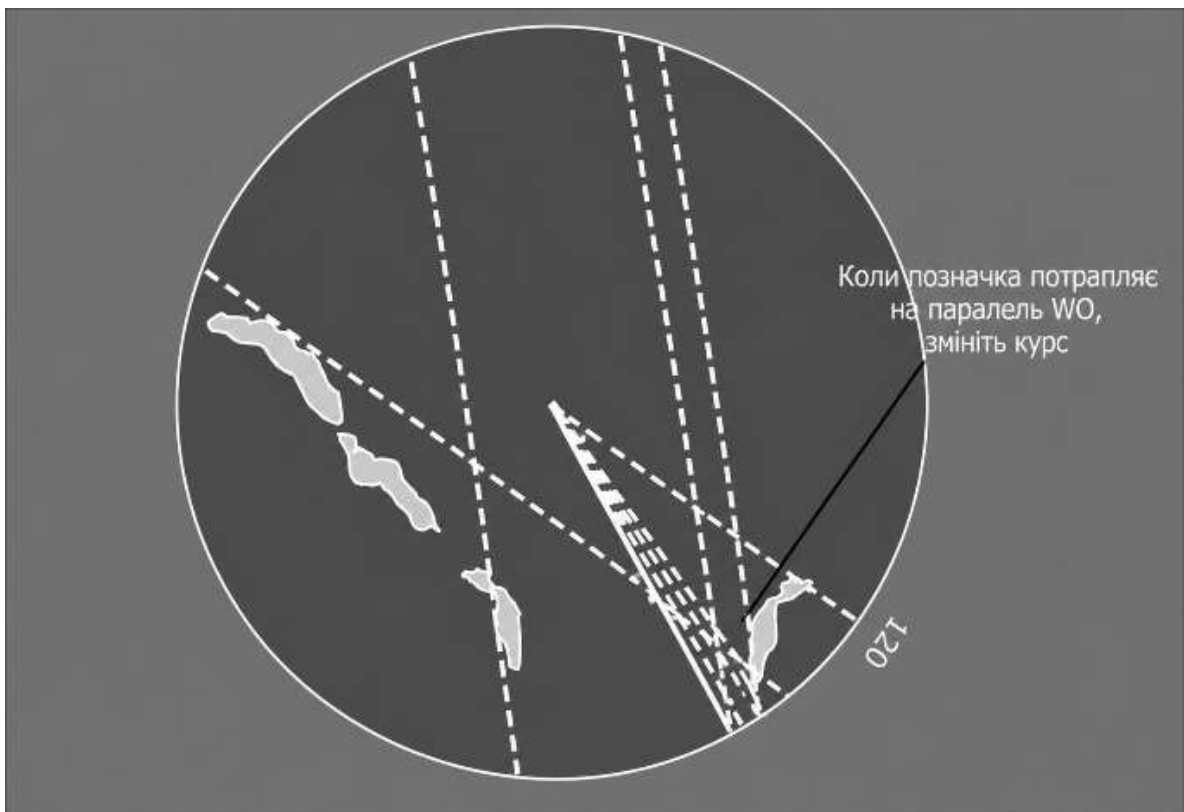


б)

Рис. 4.11 – Використання паралельного індексування при зміні курсу:
а – показано використання паралельного індексування для зміни курсу; б – паралельні
індексні лінії, підготовлені для зміни курсу

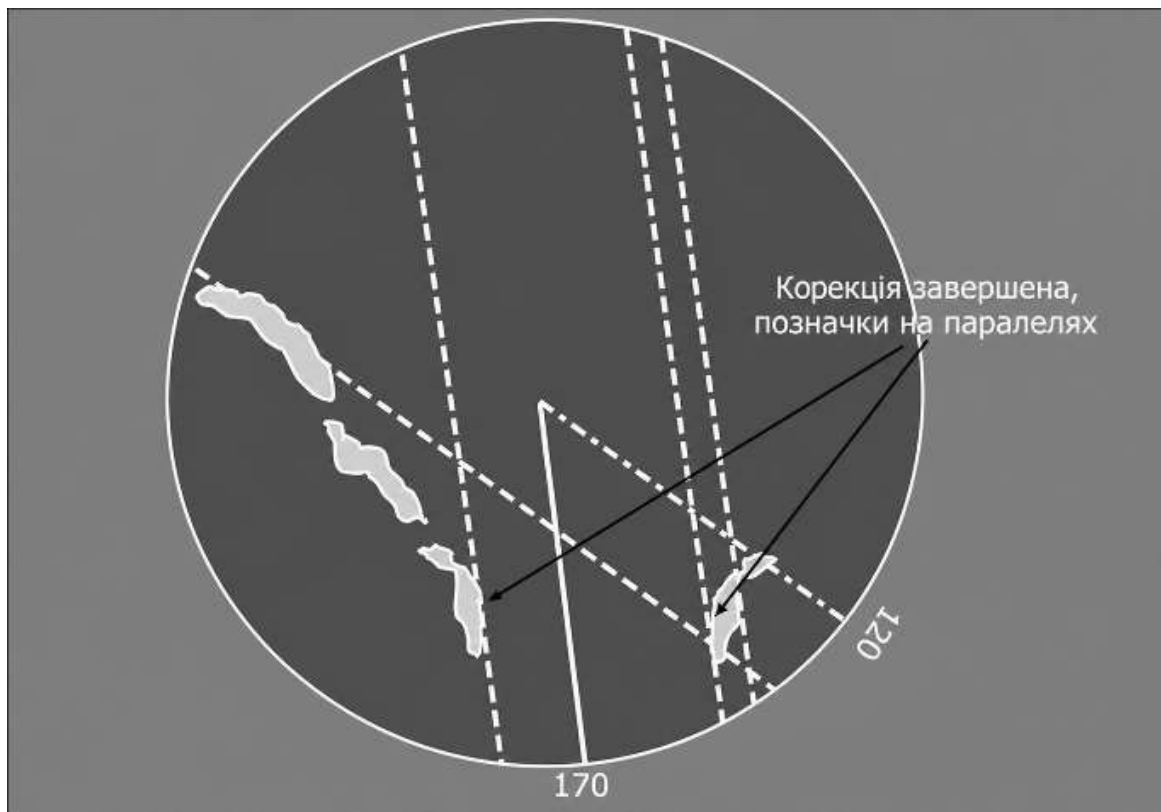


в)



г)

Рис. 4.11 (Продовження) – Використання паралельного індексування при зміні курсу:
в – підхід до точки «wheel over» (початку перекладки керма); г – у момент «wheel over»



д)

Рис. 4.11 (Продовження) – Використання паралельного індексування при зміні курсу:
д – на новому курсі

Для забезпечення їх коректного використання такі лінії або контури повинні бути жорстко прив'язані до географічної системи координат. Це досягається або за рахунок використання супутникових навігаційних систем, або шляхом автоматичного супроводження нерухомої радіолокаційної цілі з подальшою прив'язкою до неї. У деяких випадках можливе також прив'язування побудованої карти до початку координат радара, що дозволяє формувати більш складні комбінації ліній.

Однак перед використанням такої функції судноводій повинен бути повністю впевнений у способі її реалізації. Якщо навігаційні лінії або карта не є географічно фіксованими або не прив'язані до стабільної нерухомої цілі, вони можуть зміщуватися відносно початку координат. Це створює потенційно небезпечну ситуацію, коли оператор, не усвідомлюючи цього, намагається «підтягувати» зображення у правильне положення. Така практика є неприпустимою, оскільки неминуче призводить до накопичення помилок.

Функціональні можливості побудови таких ліній істотно відрізняються залежно від виробника радіолокаційної станції. Зазвичай передбачено два основні способи введення даних: числове введення координат або побудова за допомогою курсора за принципом «перетягування». У багатьох системах цей процес залишається трудомістким і не завжди інтуїтивно зрозумілим. Випадкова помилка при введенні або неправильна команда можуть призвести до втрати виконаної роботи, що особливо критично в умовах обмеженого часу.

Водночас після створення така карта може бути збережена і повторно використана. Це відкриває додаткові можливості для адаптації навігаційного забезпечення до конкретного судна або рейсу. Зокрема, можна наносити елементи, які не відображені на стандартній електронній карті або, навпаки, спростити надлишково деталізовану інформацію, що полегшує сприйняття обстановки.

Процес створення таких карт вимагає підвищеної уважності. Через його трудомісткість існує значний ризик помилок, тому результати бажано перевіряти незалежно. Крім того, вахтовий помічник зобов'язаний перевіряти будь-які навігаційні лінії або карти, які використовуються під час його вахти, особливо якщо вони були створені іншими членами екіпажу раніше.

При прив'язці до нерухомої радіолокаційної цілі ключовим є правильний вибір такого об'єкта. Він повинен мати стабільне та чітке відбиття, бути поза зоною завад і, головне, бути гарантовано нерухомим відносно ґрунту. Найбільш придатними є ізольовані скелі, маяки або інші стаціонарні об'єкти. Навігаційні буї можуть використовуватися лише за відсутності кращих варіантів.

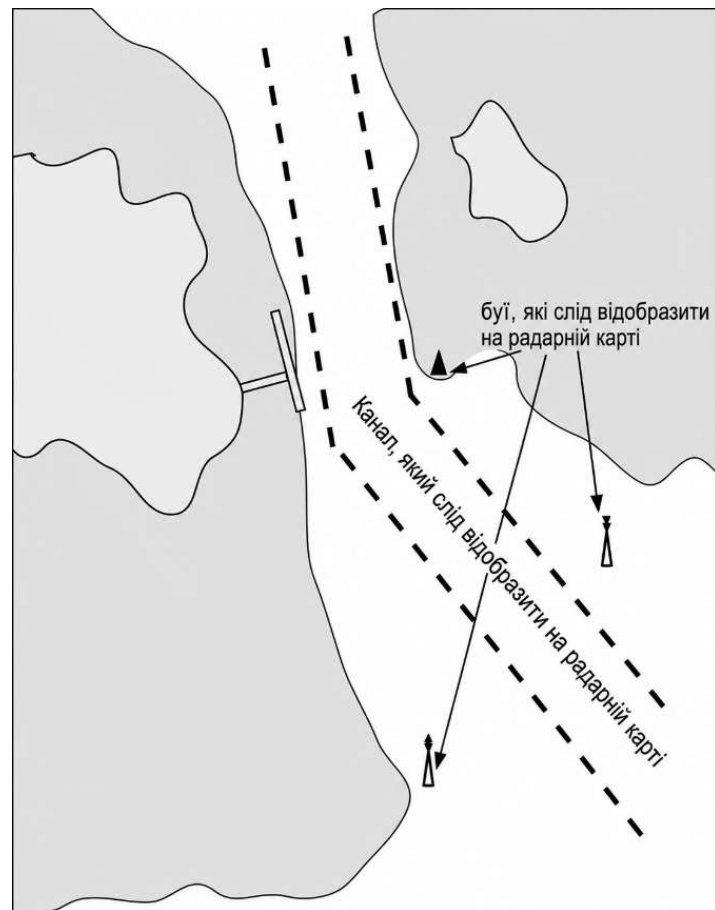
Важливо розуміти, що для такої прив'язки точні координати об'єкта не є критичними. Його роль полягає у забезпеченні стабільної опорної точки для обчислювальної системи радару. Зазвичай такі цілі позначаються на екрані спеціальним символом (*ground-lock*), що дозволяє відрізнити їх від інших.

Якщо побудована карта базується на координатах WGS84 і навігаційна система працює коректно, її елементи повинні співпадати з відповідними радарними відбиттями. У разі виникнення розбіжностей, що перевищують допустимі межі, карту необхідно скоригувати таким чином, щоб забезпечити її відповідність реальній радіолокаційній картині.

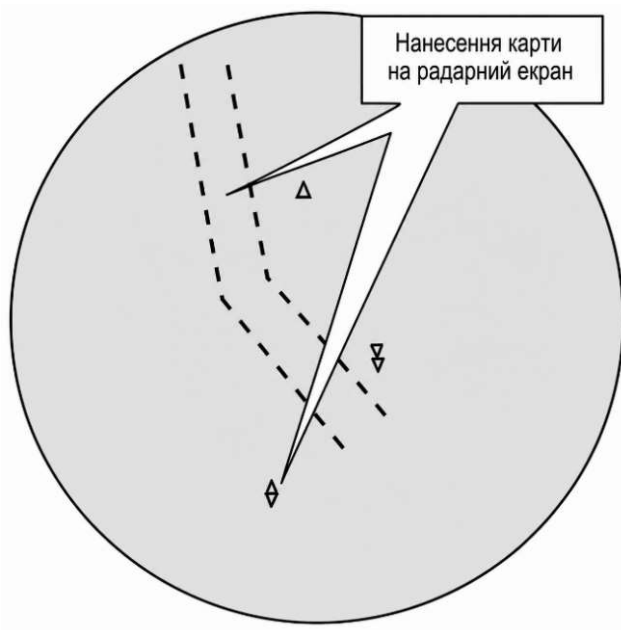
Окремим важливим аспектом є використання навігаційних ліній при зміні курсу. Паралельне індексування дозволяє визначити момент початку повороту – точку *wheel-over*. Вона визначається з урахуванням маневрених характеристик судна та відкладається від точки перетину старого і нового курсів.

Через цю точку проводиться лінія, паралельна новому курсу. Відстань цієї лінії від траєкторії руху визначає положення індексної лінії на радарі. Коли радарне відбиття опорного об'єкта досягає цієї лінії, це є сигналом для початку перекладки керма.

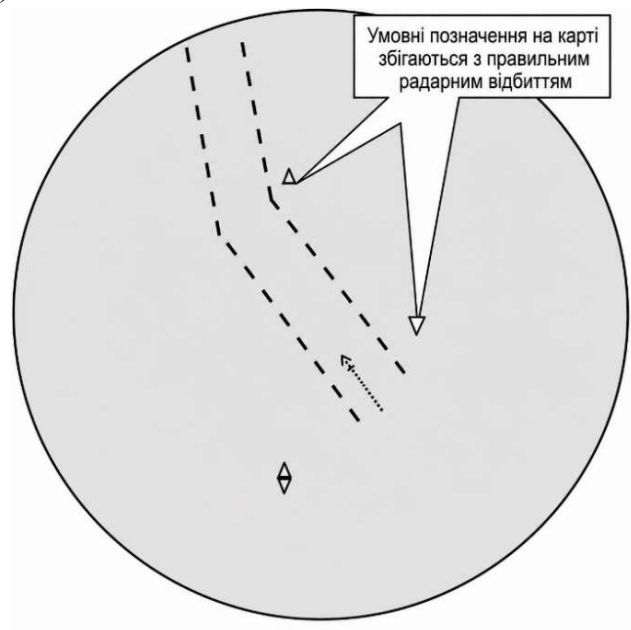
Такий підхід дозволяє виконувати зміну курсу з високою точністю навіть за відсутності візуальних орієнтирів, що є характерним для умов обмеженої видимості.



а)



б)



в)

Рис. 4.12 – Побудова та використання радіолокаційної карти:
а – послідовність, що показує просту радіолокаційну карту; б – карта, побудована на екрані радара; в – використання карти на радарі

4.2. Зміна курсу (Alteration of Course)

Після розгляду засобів контролю положення судна логічним наступним кроком є перехід до задачі управління його рухом. Якщо у попередніх підрозділах основна увага приділялася отриманню та інтерпретації навігаційної інформації, то тепер йдеться про її практичне використання для виконання маневру. Найбільш показовим і водночас складним із таких маневрів є зміна курсу, особливо в умовах обмежених вод.

Як уже зазначалося при розгляді паралельного індексування, визначення точки початку повороту (*wheel-over*) може бути виконане з використанням індексних ліній. Ця точка визначається відносно геометрії маршруту і переноситься на радіолокаційне зображення у вигляді паралельної лінії. Коли відбиття обраного орієнтира досягає цієї лінії, судноводій отримує чіткий сигнал для початку перекладки керма. При цьому опорний об'єкт може відрізнитися від точки, через яку проходить новий курс, однак сама індексна лінія повинна залишатися строго паралельною напрямку руху після повороту.

4.2.1. Зміна курсу в обмежених водах (Altering Course in Restricted Waters)

Під час виконання зміни курсу в обмежених водах радіолокатор перестає бути лише засобом спостереження і перетворюється на інструмент безпосереднього контролю траєкторії руху судна. У таких умовах недостатньо лише вивести судно на новий курс – необхідно забезпечити, щоб у процесі повороту воно не вийшло за межі безпечної зони.

Фактично перед судноводієм стоїть подвійне завдання. З одного боку, необхідно забезпечити точний вихід на новий курс, а з іншого – утримати судно в межах заданої траєкторії протягом усього маневру. Саме друга вимога виявляється найбільш складною, оскільки вона залежить від багатьох факторів, які не завжди можуть бути точно враховані.

У практиці судноводіння сформувалися два основні підходи до виконання повороту. Перший з них базується на підтриманні постійної швидкості зміни курсу. У цьому випадку кермо перекладається на визначений кут і утримується до завершення повороту. Такий підхід є традиційним і широко застосовується, оскільки не вимагає складних розрахунків у процесі виконання маневру.

Однак його точність обмежена. Дані про циркуляцію судна, які використовуються при плануванні, зазвичай отримуються під час випробувань у стандартних умовах – при певній швидкості, у глибокій воді та при визначеному стані завантаження. У реальних умовах ці параметри можуть суттєво відрізнитися. Вплив течії, вітру, зміна осадки, диференту та положення центра обертання призводять до того, що фактична траєкторія повороту відрізняється від розрахункової.

У таких умовах судноводій змушений покладатися на постійний контроль ситуації. Використання паралельних індексних ліній дозволяє оцінювати положення судна відносно безпечних меж, однак сам поворот часто коригується

вже в процесі його виконання. Це означає, що контроль здійснюється переважно за результатом, а не за точною траєкторією руху.

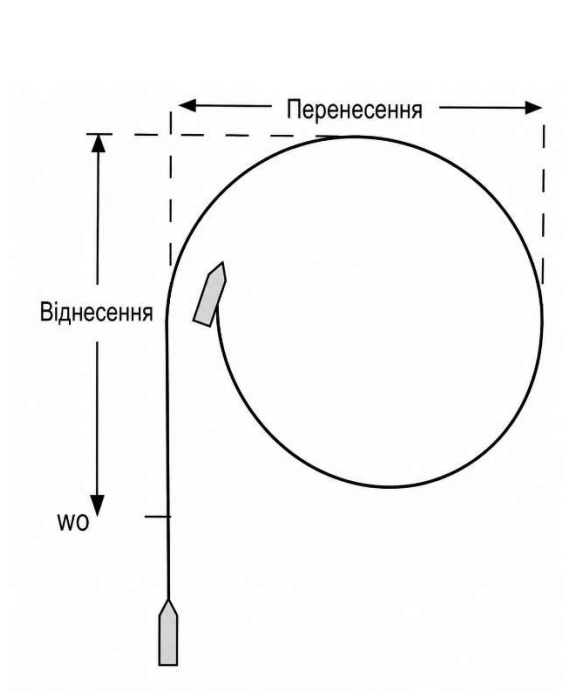


Рисунок 4.13 – Циркуляція судна

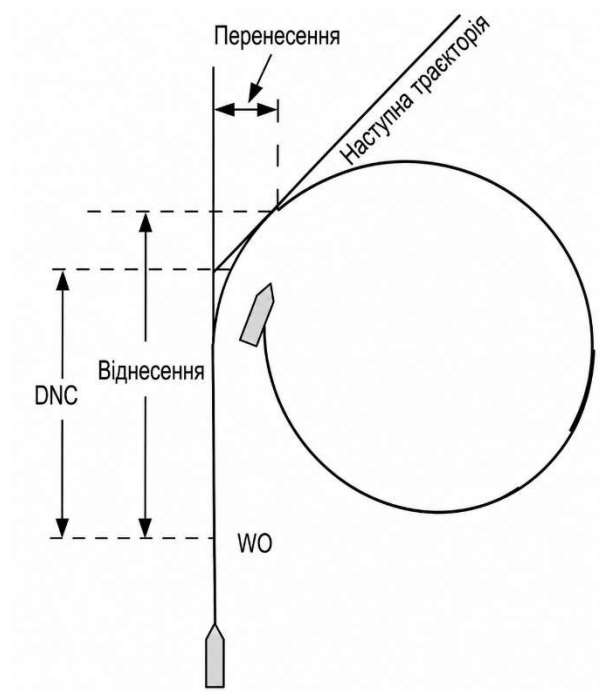


Рисунок 4.14 – Випередження та зміщення

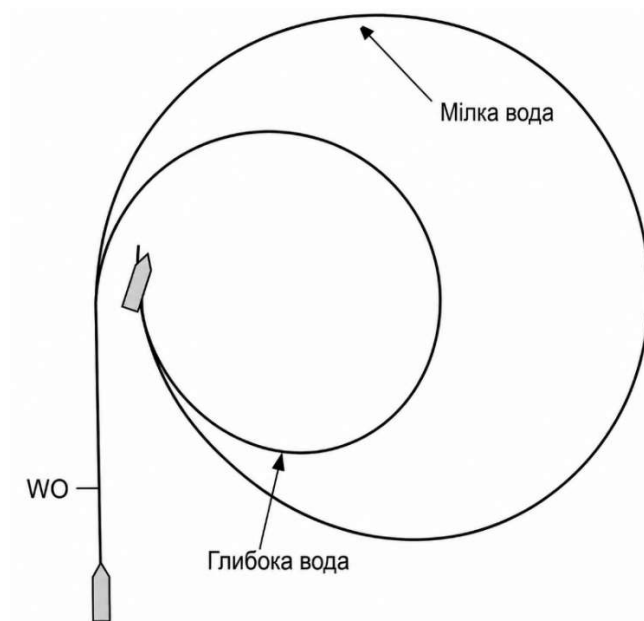


Рисунок 4.15 – Вплив мілководдя на радіус повороту

Альтернативний підхід полягає у виконанні повороту по дузі із заданим радіусом. У цьому випадку траєкторія руху визначається заздалегідь і може бути нанесена на карту або відображена в електронній навігаційній системі. Центр цієї дуги може бути прив'язаний до реального навігаційного орієнтира або визначений шляхом геометричної побудови.

Такий підхід дозволяє значно точніше контролювати положення судна під час повороту. Однак він вимагає підтримання відповідної швидкості зміни курсу (*rate of turn*), яка залежить від швидкості судна та обраного радіуса. При цьому необхідно враховувати, що під час повороту швидкість судна, як правило, зменшується, а отже, змінюється і необхідна швидкість повороту.

Це означає, що управління судном повинно здійснюватися динамічно, із постійним коригуванням кута перекладки керма. На практиці це досягається шляхом контролю індикатора швидкості повороту та відповідного реагування на її зміну.

Особливої актуальності цей підхід набуває для великих суден або суден із обмеженою маневреністю. Для таких суден відхилення від заданої траєкторії під час повороту може мати критичні наслідки, тому контроль руху повинен бути максимально точним.

Сучасні електронні навігаційні системи значно полегшують реалізацію такого підходу, дозволяючи відображати задану траєкторію безпосередньо на екрані. Проте навіть у цьому випадку необхідно використовувати незалежні засоби контролю.

У цьому контексті радіолокатор має принципове значення. Його незалежність від зовнішніх джерел сигналу дозволяє використовувати його як надійний інструмент перевірки правильності виконання маневру. Співставлення радарних відбиттів із очікуваним положенням судна дає можливість своєчасно виявити відхилення і скоригувати рух.

4.2.2. Поворот із постійною швидкістю та постійним радіусом (Constant Rate Turn and Constant Radius Turn)

Поворот судна при зміні курсу може виконуватися за різними принципами, однак у практиці судноводіння найчастіше розглядаються два підходи: поворот із постійною швидкістю зміни курсу та поворот по дузі із заданим радіусом. Обидва методи базуються на маневрених характеристиках судна, однак відрізняються за ступенем передбачуваності та можливістю контролю траєкторії руху.

Поворот із постійною швидкістю зміни курсу визначається на основі наявних маневрених даних судна. В ідеальному випадку такі дані повинні бути отримані для різних кутів перекладки керма, однак на практиці вони часто обмежені. Як правило, випробування проводяться в баластному стані, у глибокій воді і при певній швидкості, що значно відрізняється від реальних умов експлуатації.

У таких поворотах судно описує траєкторію, яка лише умовно наближається до кола. Фактично вона має складніший характер, близький до спіралеподібного, особливо якщо кут перекладки керма залишається незмінним протягом усього маневру.

Важливими характеристиками повороту є величини *advance* і *transfer*. Перша визначає відстань, яку судно проходить у напрямку початкового курсу до моменту виходу на новий курс, а друга – бічне зміщення відносно цього курсу.

Саме ці параметри лежать в основі визначення точки початку повороту (*wheel-over*).

Цікавою особливістю є те, що швидкість судна має відносно невеликий вплив на розміри циркуляції. Іншими словами, діаметр циркуляції залишається приблизно однаковим як при 5, так і при 15 вузлах. Натомість значно більший вплив мають геометричні та гідродинамічні характеристики судна.

На початковому етапі повороту визначальну роль відіграє інерція руху. Судно продовжує рухатися у напрямку початкового курсу навіть після перекладки керма. Цей ефект особливо виражений у довгих вузьких суден, які характеризуються високою курсовою стійкістю. Навпаки, широкі судна швидше реагують на перекладку керма і мають меншу інерційну «затримку».

Суттєвий вплив на характеристики повороту має запас води під кілем (UKC). Більшість маневрених даних отримується у глибокій воді, однак при зменшенні глибини діаметр циркуляції може значно збільшуватися – іноді до 100%. При цьому швидкість зміни курсу може залишатися приблизно тією самою, що створює ілюзію нормального повороту, тоді як фактична траєкторія значно розширюється.

Іншим фактором є зміна швидкості судна під час повороту. При великих кутах зміни курсу швидкість може суттєво зменшуватися навіть при незмінних обертах гвинта. Причому цей ефект часто більш виражений у глибокій воді, ніж у мілководді, що на перший погляд виглядає неочевидним.

Незважаючи на зазначені обмеження, дані циркуляції широко використовуються для планування поворотів і визначення ліній *wheel-over*. Ключовим параметром при цьому є відстань до нового курсу (*Distance to New Course*, DNC), яка дозволяє визначити положення відповідної індексної лінії.

Лінія *wheel-over* повинна бути проведена паралельно новому курсу. Це принципово важливо, оскільки дозволяє мінімізувати поперечну похибку при переході зі старого курсу на новий.

У реальних умовах положення цієї лінії повинно коригуватися з урахуванням течії. Якщо судно змушене утримувати різні курси до і після повороту для компенсації зносу, то фактичний кут повороту визначається різницею між цими курсами, а не геометричним кутом між напрямками траси.

Більш точним і керованим є поворот по дузі з постійним радіусом. У цьому випадку траєкторія руху задається заздалегідь і може бути нанесена на карту або відображена в електронній системі. Судноводій обирає радіус повороту, який не повинен бути меншим за мінімально можливий для даного судна.

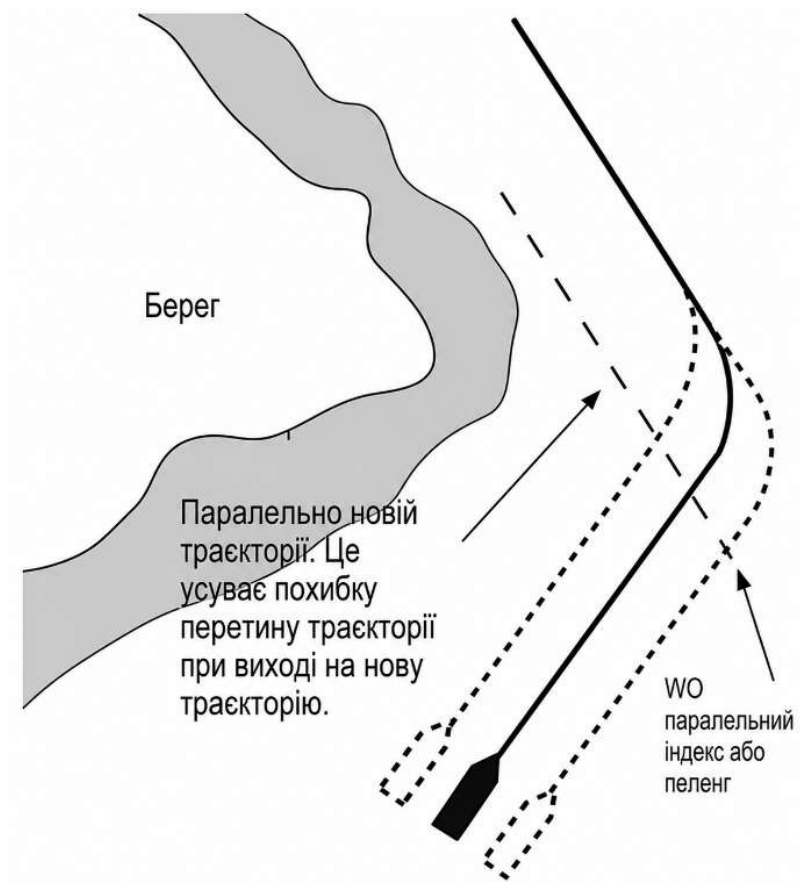


Рисунок 4.16 – Визначення точки «wheel-over»

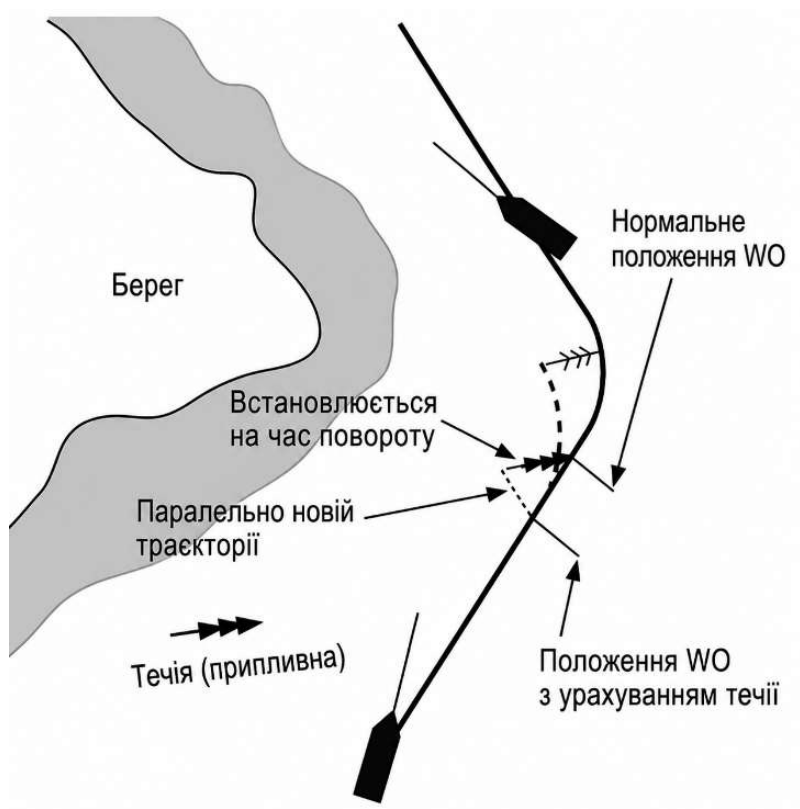


Рис. 4.17 – Коригування точки «wheel-over» з урахуванням течії

Ключовим параметром тут є швидкість зміни курсу (*rate of turn*, RoT), яка визначається співвідношенням між швидкістю судна та радіусом повороту:

$$RoT = \frac{V}{r}$$

де швидкість V виражена у вузлах, а радіус r – у морських милях.

Це співвідношення дозволяє безпосередньо визначати необхідну швидкість повороту. Наприклад, при радіусі 1 миля числове значення RoT у градусах за хвилину дорівнює швидкості судна у вузлах. Якщо радіус становить 0,5 милі, RoT буде вдвічі більшим.

Особливістю цього методу є необхідність постійного контролю і корекції. Оскільки під час повороту швидкість судна зменшується, відповідно зменшується і RoT. Для збереження заданого радіуса судноводій повинен відповідно змінювати кут перекладки керма.

Практична реалізація такого підходу потребує наявності індикатора швидкості повороту або відповідного режиму автопілота. Сучасні системи можуть підтримувати заданий RoT або забезпечувати рух судна по заданій траєкторії, однак навіть у цьому випадку необхідний постійний контроль.

Контроль траєкторії повинен здійснюватися незалежними методами. Електронна карта дозволяє відслідковувати рух судна відносно запланованої траєкторії, однак її дані базуються на супутниковому позиціонуванні. Радіолокатор, у свою чергу, забезпечує незалежне підтвердження правильності руху. Співставлення радарного зображення з картографічними об'єктами дозволяє переконатися, що судно дійсно рухається вздовж заданої географічної кривої.

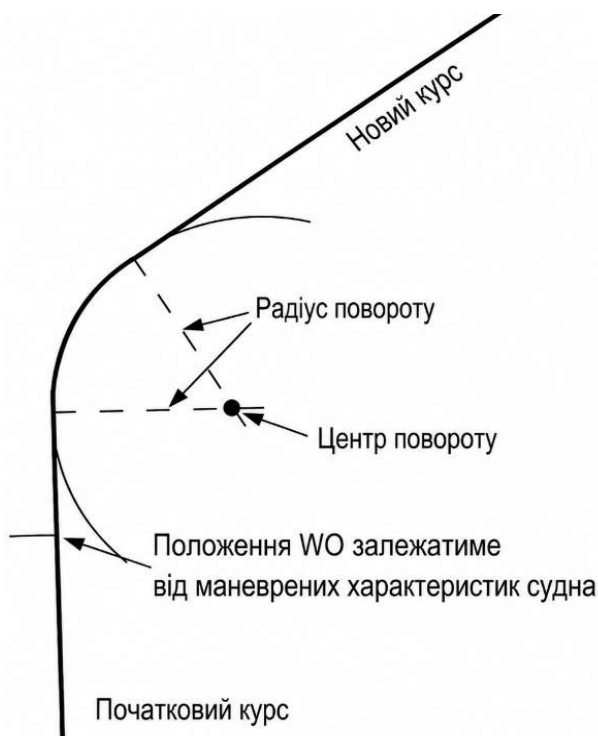


Рисунок 4.18 – Контроль повороту за допомогою радіолокаційних засобів.

4.2.3. Концентричне індексування

Радіолокатор у повній мірі розкриває свої можливості при використанні методу концентричного індексування – підходу, який дозволяє безпосередньо контролювати траєкторію повороту судна в реальному часі. Цей метод був розроблений капітаном Полом Чепменом і знайшов широке застосування у лоцманській практиці.

Його ефективність значною мірою залежить від того, наскільки добре судноводій володіє конкретною радіолокаційною станцією. Сучасні РЛС мають різні режими стабілізації, варіанти використання VRM, EBL, індексних ліній та інших інструментів, що ускладнює уніфіковане застосування методу. Саме тому відпрацювання цієї техніки повинно виконуватися заздалегідь, у спокійних умовах, до її використання в реальній навігаційній обстановці.

Сутність методу полягає у створенні на екрані радару геометричної моделі повороту. У найпростішому варіанті радар встановлюється в режим *head-up* без стабілізації, після чого змінне кільце дальності (VRM) зміщується у бік внутрішньої сторони повороту на відстань, що відповідає радіусу циркуляції судна. Таким чином формується умовна дуга, вздовж якої має рухатися судно.

Ключовим елементом методу є вибір так званої опорної точки повороту – чітко ідентифікованого радіолокаційного об'єкта. Бажано, щоб він знаходився поза межами траєкторії повороту, що дозволяє після завершення маневру використовувати його для побудови паралельних індексних ліній нового курсу. Водночас це не є обов'язковою умовою, якщо на новому курсі доступні інші надійні орієнтири.

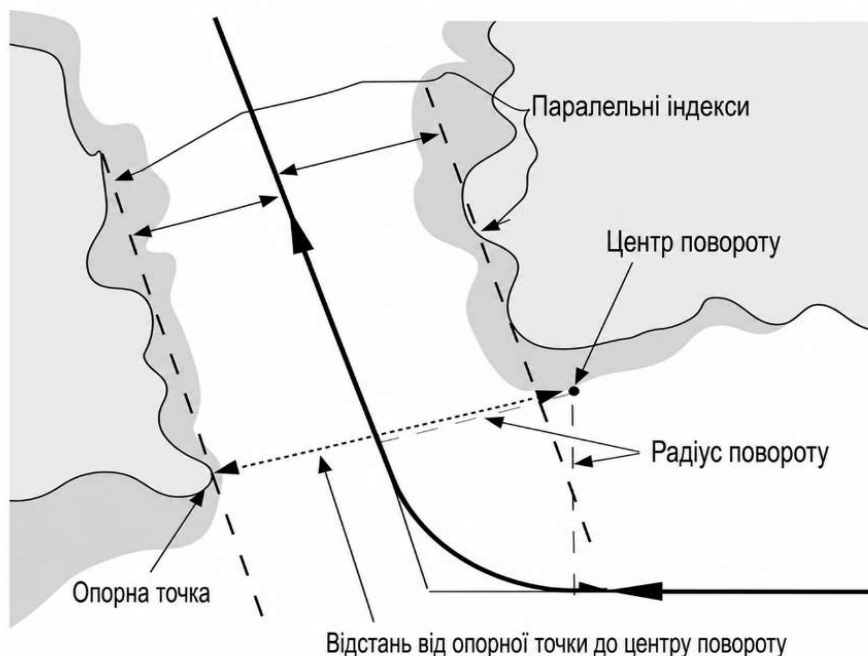


Рисунок 4.19 – Схема концентричного індексування при виконанні повороту

У процесі повороту положення цієї опорної точки відносно встановленого VRM стає індикатором правильності виконання маневру. Якщо відбиття

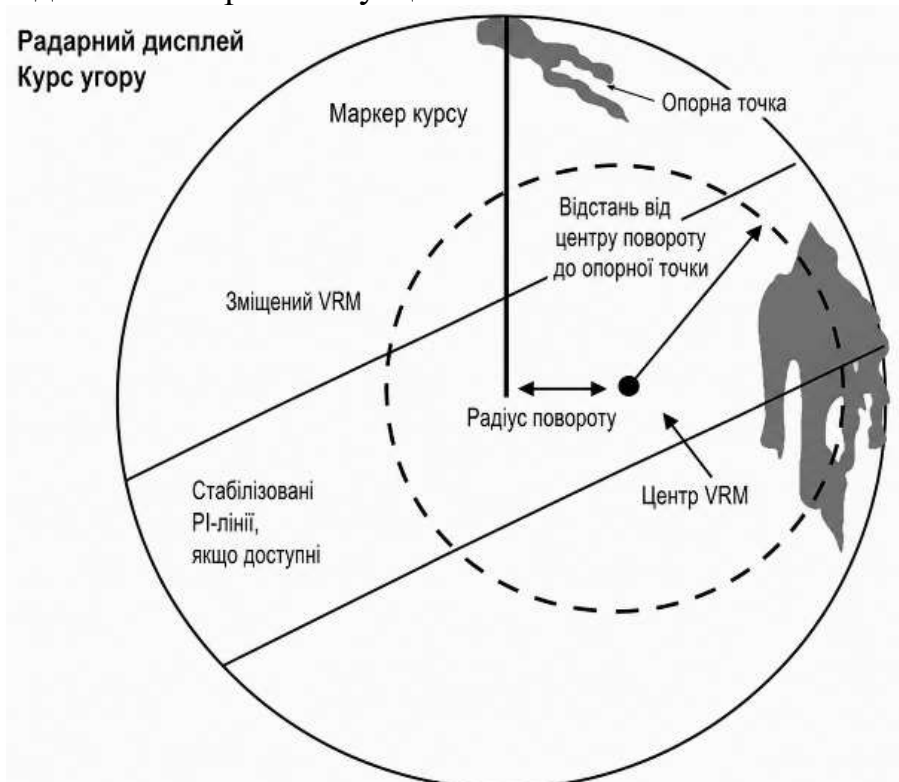
зміщується всередину кола, це означає, що поворот виконується недостатньо інтенсивно. Якщо ж воно віддаляється від встановленого радіуса, судно повертає занадто швидко. Таким чином, судноводій отримує безперервний візуальний контроль траєкторії.

У випадках, коли використання зміщеного VRM є неможливим, аналогічна схема може бути реалізована за допомогою зміщеної електронної лінії пеленга (EBL) із радіусною відміткою. У цьому випадку центр системи координат переноситься у точку повороту, а відстань до опорної точки задає необхідний радіус. Під час повороту така система повинна обертатися разом із зміною курсу судна.

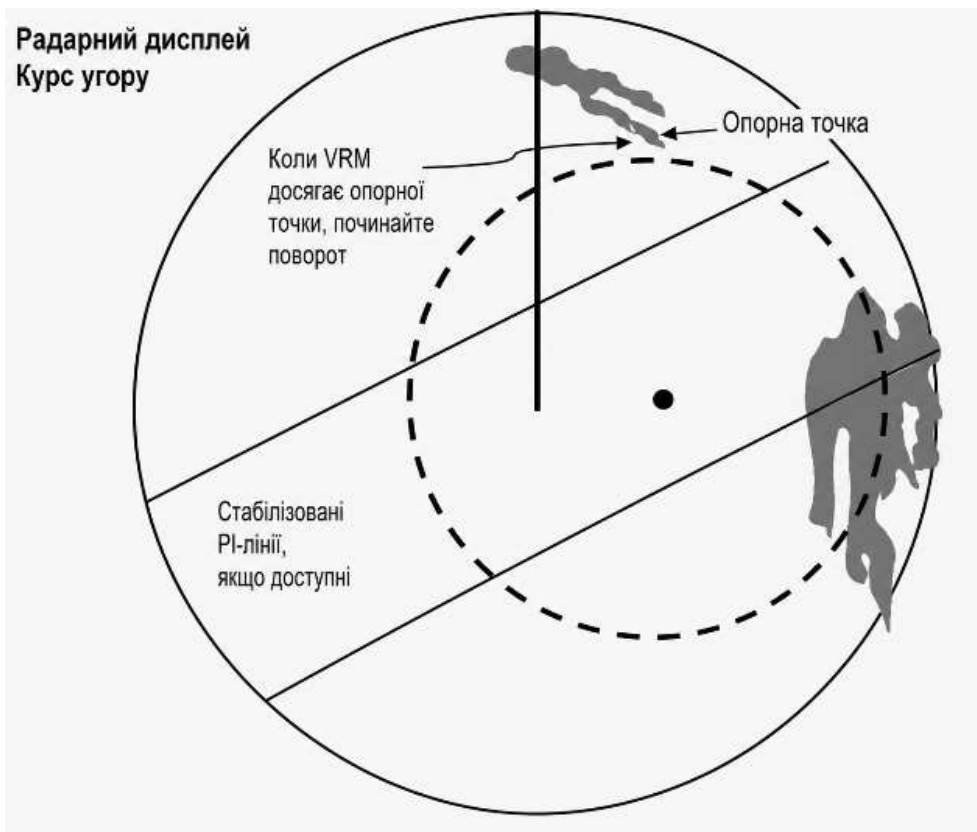
Особливу увагу слід приділяти моменту початку повороту. Команда «wheel-over» повинна подаватися заздалегідь, ще до того, як опорна точка досягне встановленого радіуса. Це обумовлено інерційністю судна і необхідністю врахування затримки реакції на перекладку керма.

Не менш важливим є контроль завершення повороту. Для цього використовуються паралельні індексні лінії нового курсу. У міру наближення до них перекладка керма повинна поступово зменшуватися, щоб уникнути перерулювання і забезпечити плавний вихід на заданий курс. Характер цього процесу визначається курсовою стійкістю судна і його маневреними властивостями.

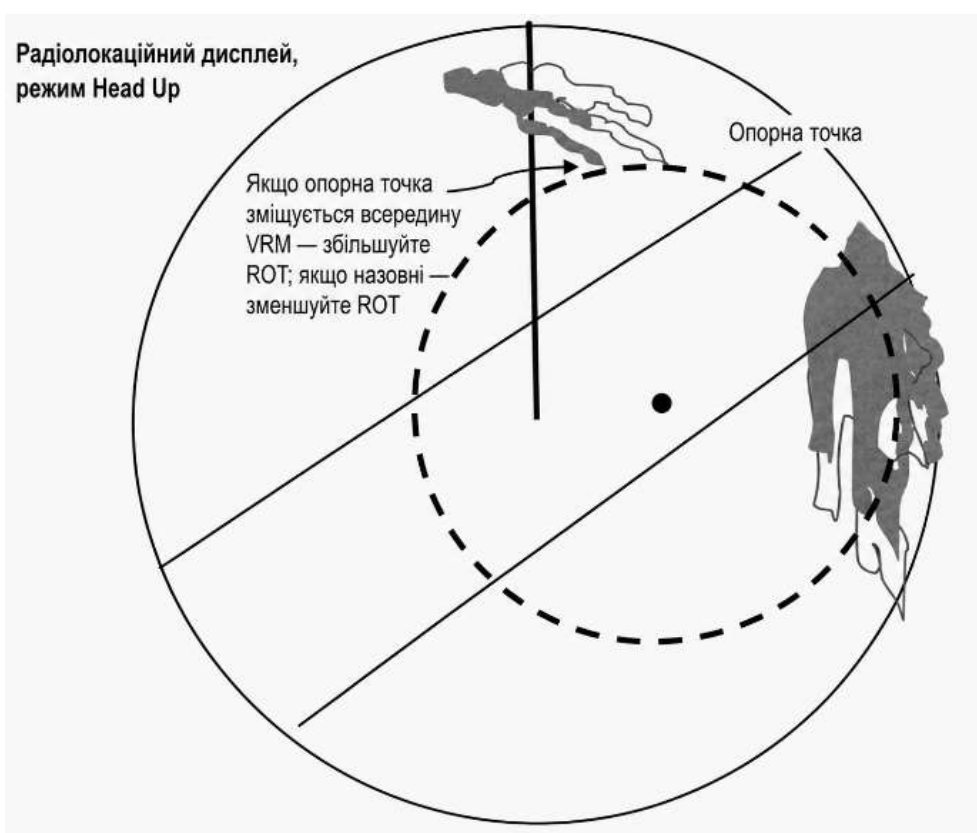
Метод концентричного індексування не може застосовуватися ізольовано. Навіть за умови його ефективності необхідно використовувати всі доступні джерела інформації: візуальні орієнтири, пеленги, дані промірів, а також координати, що відображаються на електронній карті. Лише їх поєднання забезпечує надійний контроль ситуації.



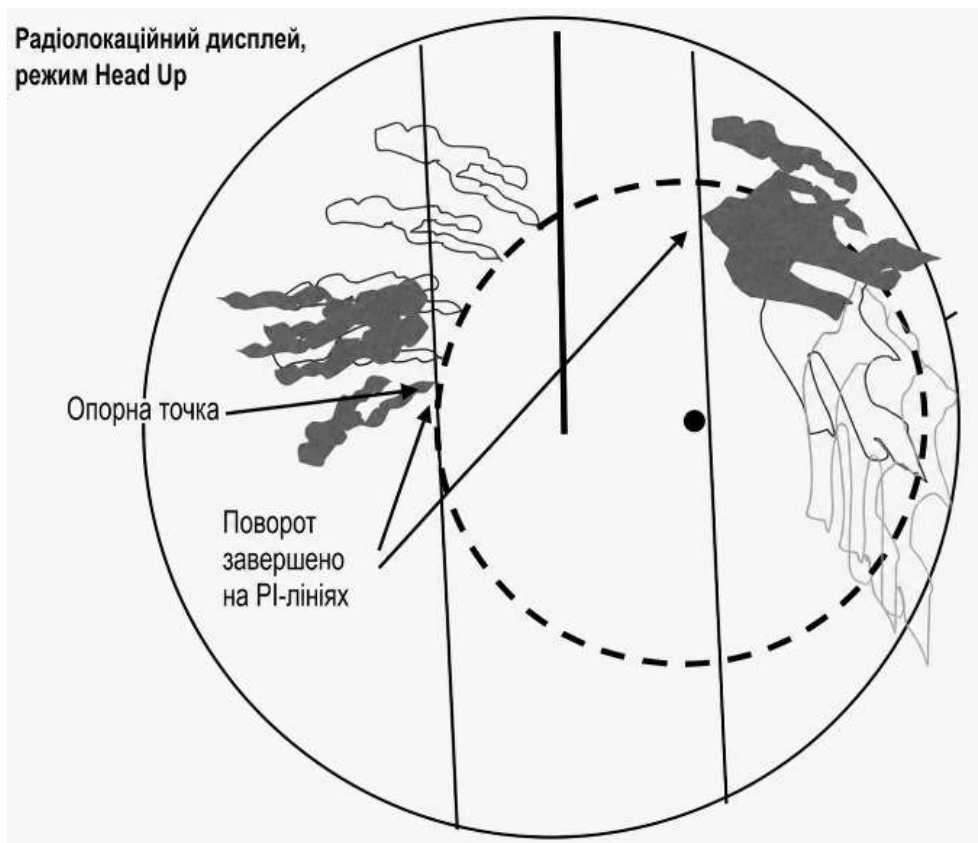
Крок 1



Крок 2



Крок 3



Крок 4

Рисунок 4.20 – Етапи виконання повороту методом концентричного індексування

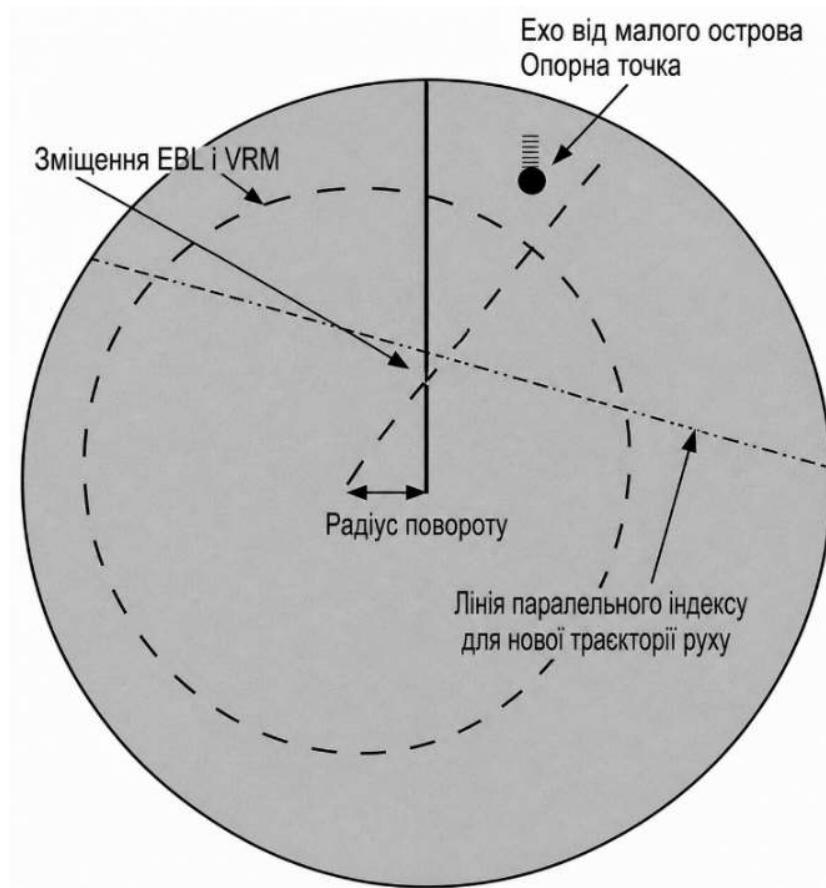
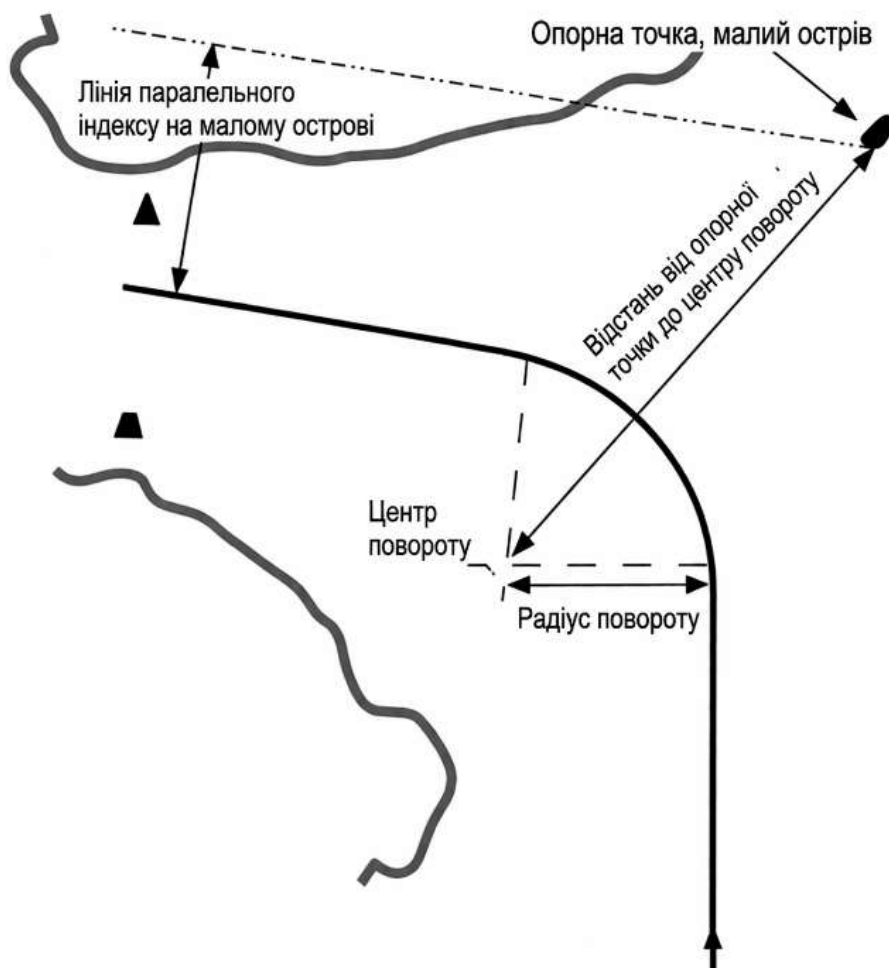
Метод може застосовуватися і в режимі *north-up*, однак у цьому випадку його використання стає менш інтуїтивним. З'являється більша кількість рухомих елементів, що ускладнює сприйняття і підвищує ймовірність помилки. У режимі *head-up* геометрія повороту сприймається безпосередньо, що робить його більш зручним у практиці (рис. 4.21).

Незалежно від обраного режиму, вирішальне значення має правильний підхід до початку маневру. Судно повинно вийти на задану траєкторію ще до початку повороту. Будь-яке поперечне відхилення призводить до зміщення центру повороту

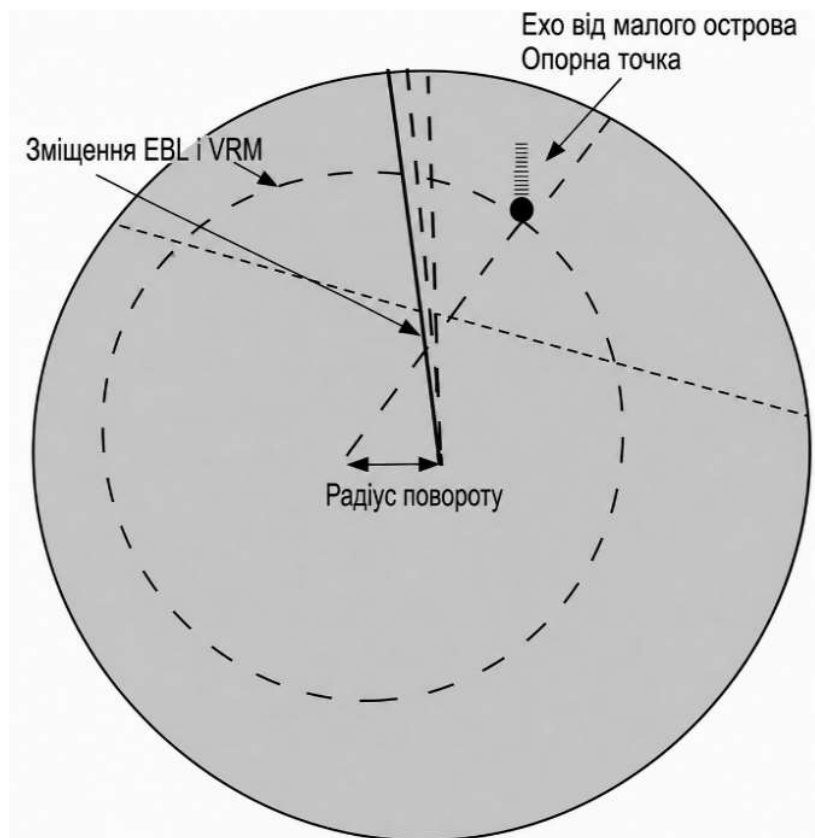
4.2.4. Приклад виконання повороту за радіолокаційними даними

Для закріплення розглянутих методів доцільно проаналізувати приклад виконання повороту з використанням радіолокаційних засобів. Наведена нижче серія зображень отримана на навігаційному тренажері під час підходу до південної частини Дублінської затоки з півночі.

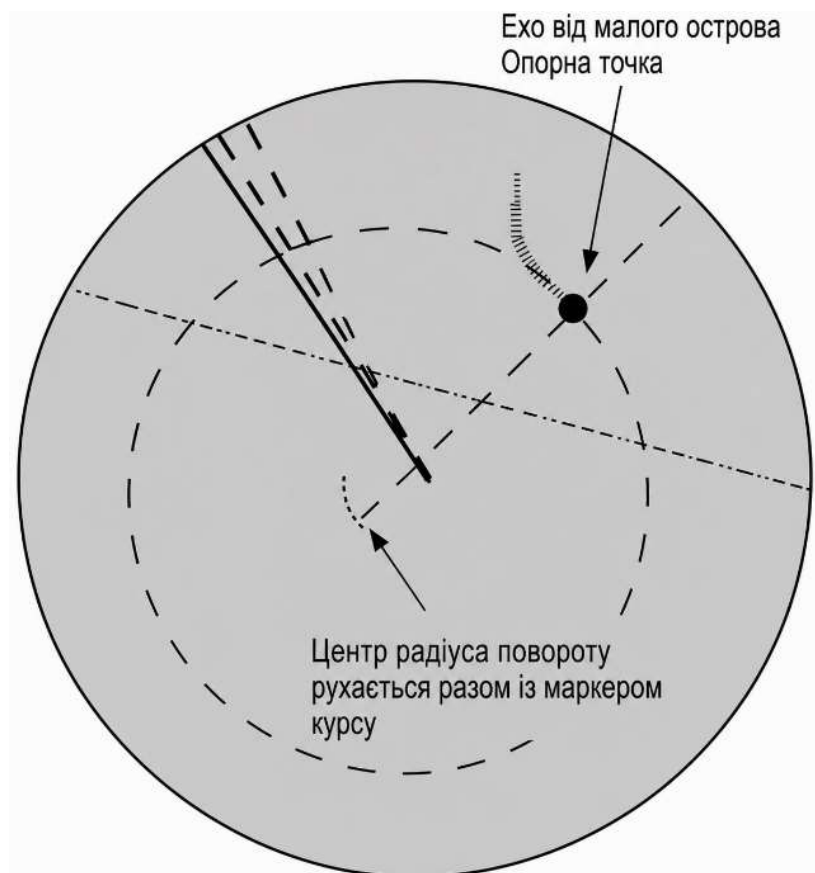
На початковому етапі маневр заздалегідь спланований на електронній карті. Визначено траєкторію руху, центр повороту та радіус дуги, який у даному випадку становить 1 милю. Як опорну точку обрано скелю Muglins Rock, що забезпечує чітке та надійне радіолокаційне відбиття. Нанесено паралельні індексні лінії для підходу до повороту, індексну лінію початку перекладки керма (*wheel-over*) та лінії контролю після виходу на новий курс.



Крок 1



Крок 2



Крок 3

Рисунок 4.21 – Виконання повороту методом концентричного індексування у режимі «north-up»

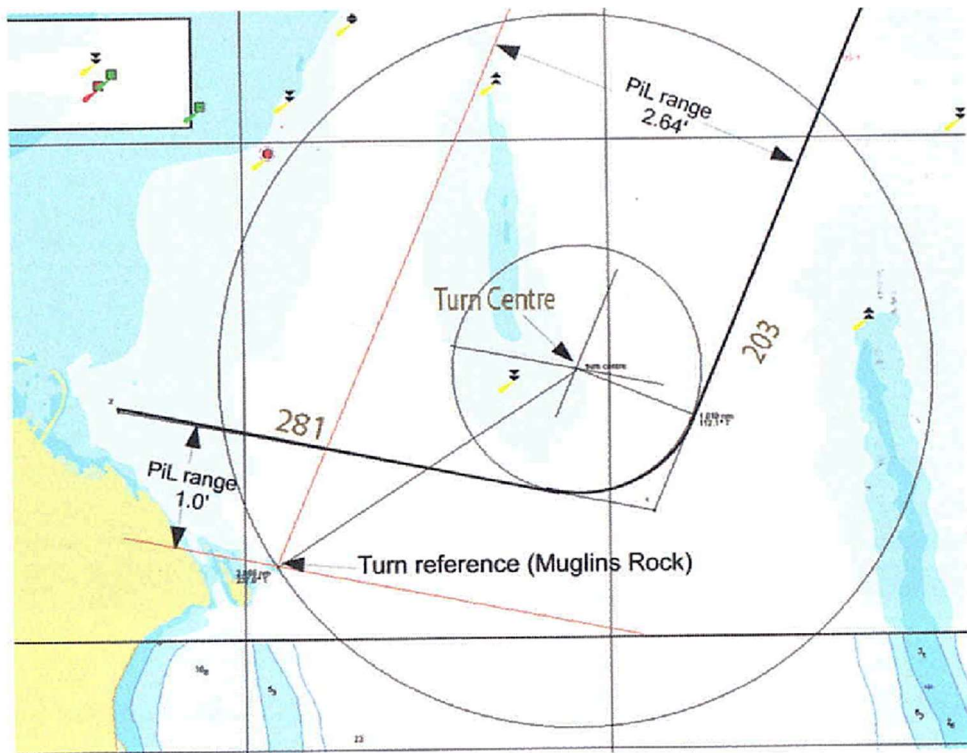


Рисунок 4.22 – Планування повороту на електронній карті з використанням паралельних індексних ліній та опорної точки

На першому радіолокаційному зображенні судно знаходиться за декілька миль до початку повороту. Паралельні індексні лінії вже встановлені, а індексне коло, сформоване за допомогою зміщеної EBL або VRM, задає геометрію повороту.

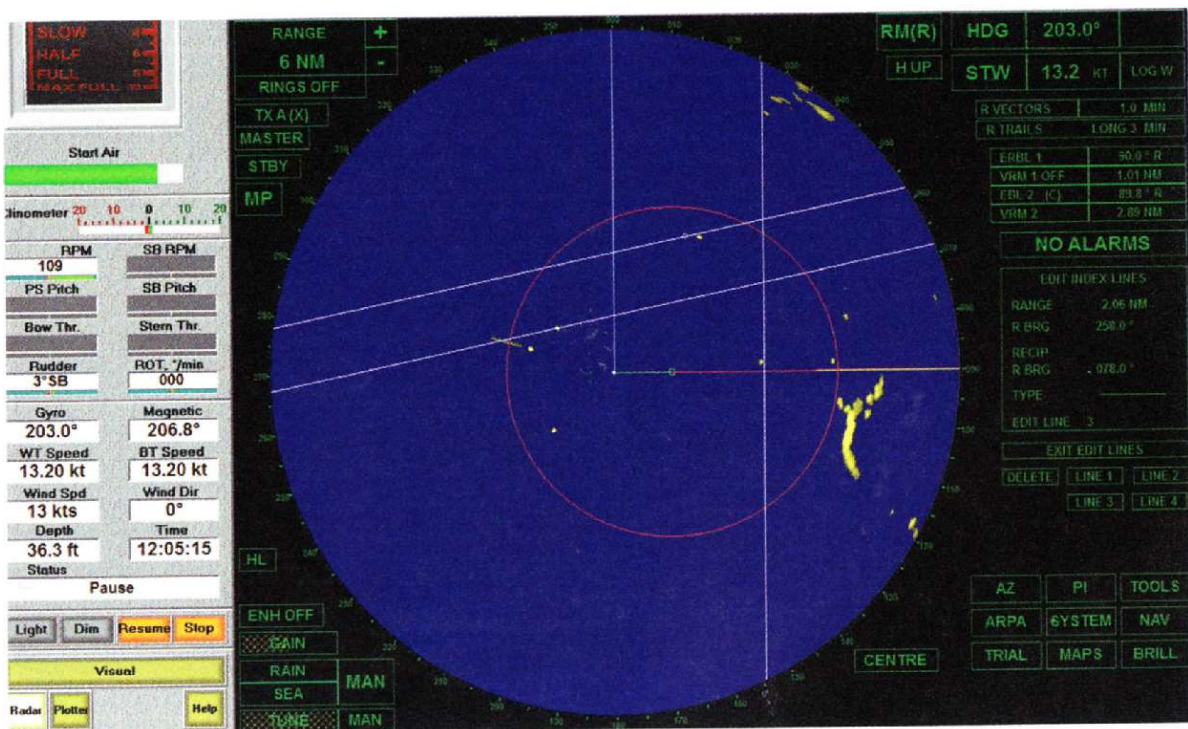


Рис. 4.23 (а) – Підхід до точки початку повороту (етап 1)

У наступний момент індексна лінія *wheel-over* суміщується з опорною точкою. Це є сигналом для початку перекладки керма. Важливо, що рішення приймається не за координатами, а за геометричним співвідношенням елементів на екрані.

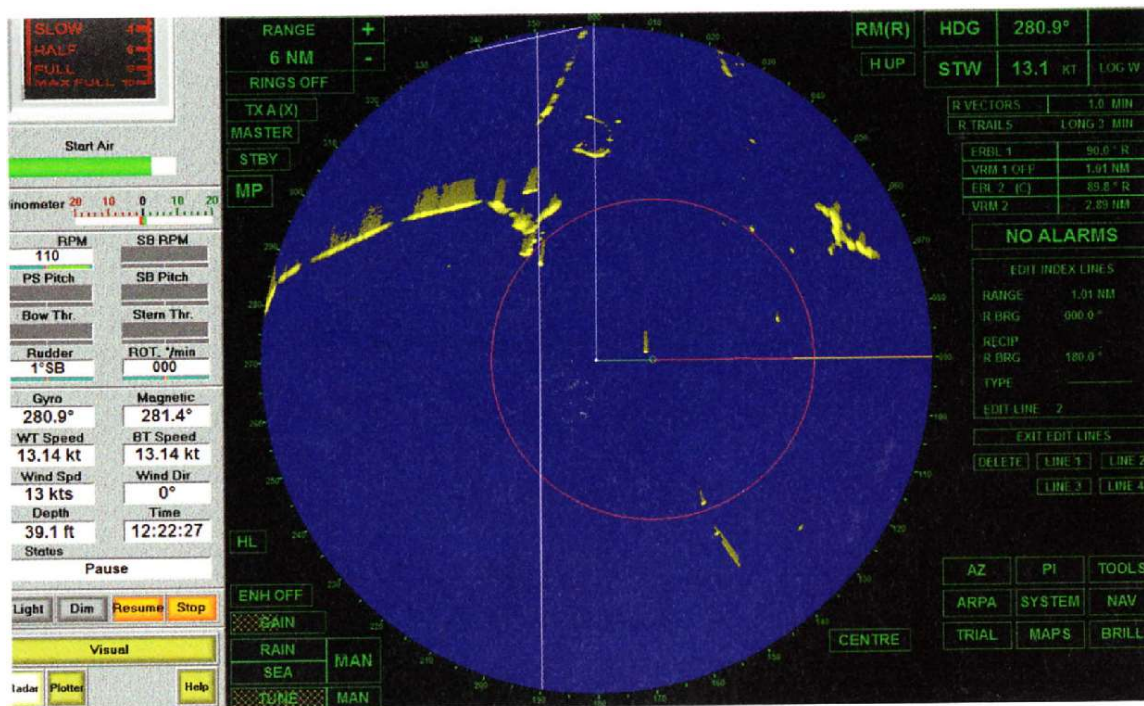


Рис. 4.23 (б) – Момент початку повороту (етап 2).

Після початку повороту можливе відхилення від розрахункової траєкторії. На наступному етапі видно, що опорна точка не знаходиться на індексному колі, що свідчить про надмірну швидкість повороту. У такій ситуації необхідно зменшити інтенсивність перекладки керма.

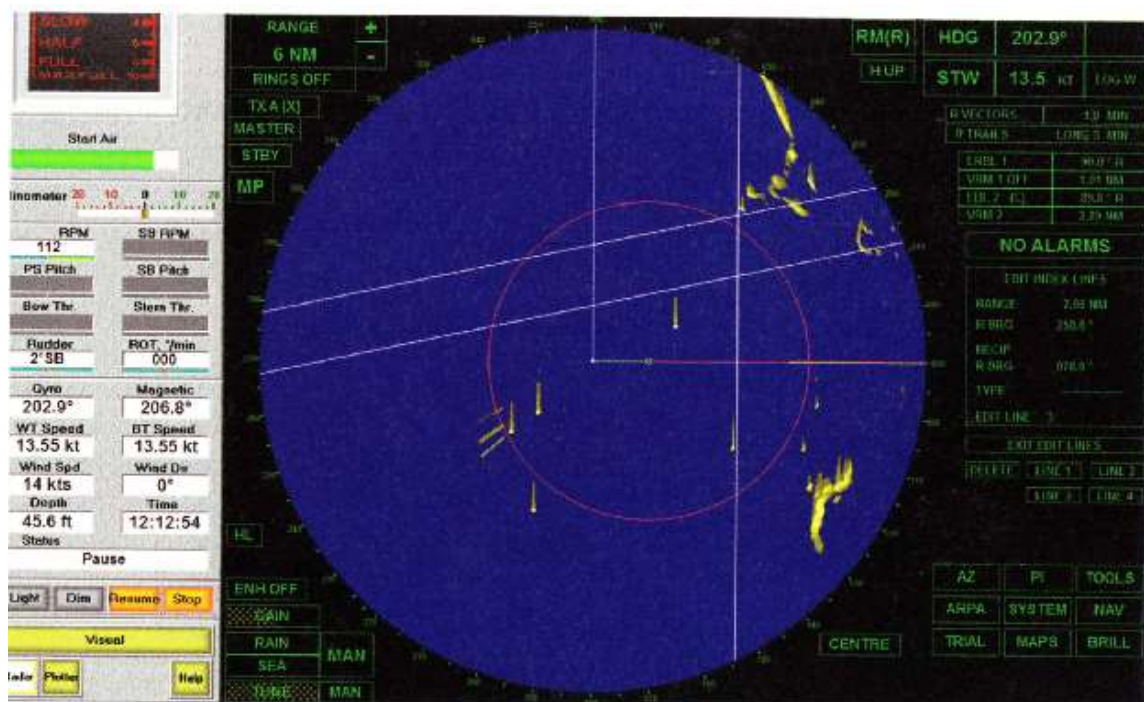


Рис. 4.23 (в) – Виявлення відхилення: надмірна швидкість повороту (етап 3)

Подальший розвиток маневру демонструє корекцію. Опорна точка повертається на заданий радіус, що означає вихід судна на розрахункову траєкторію. Паралельні індексні лінії, які використовувалися на етапі підходу, можуть бути прибрані для зменшення перевантаження зображення.

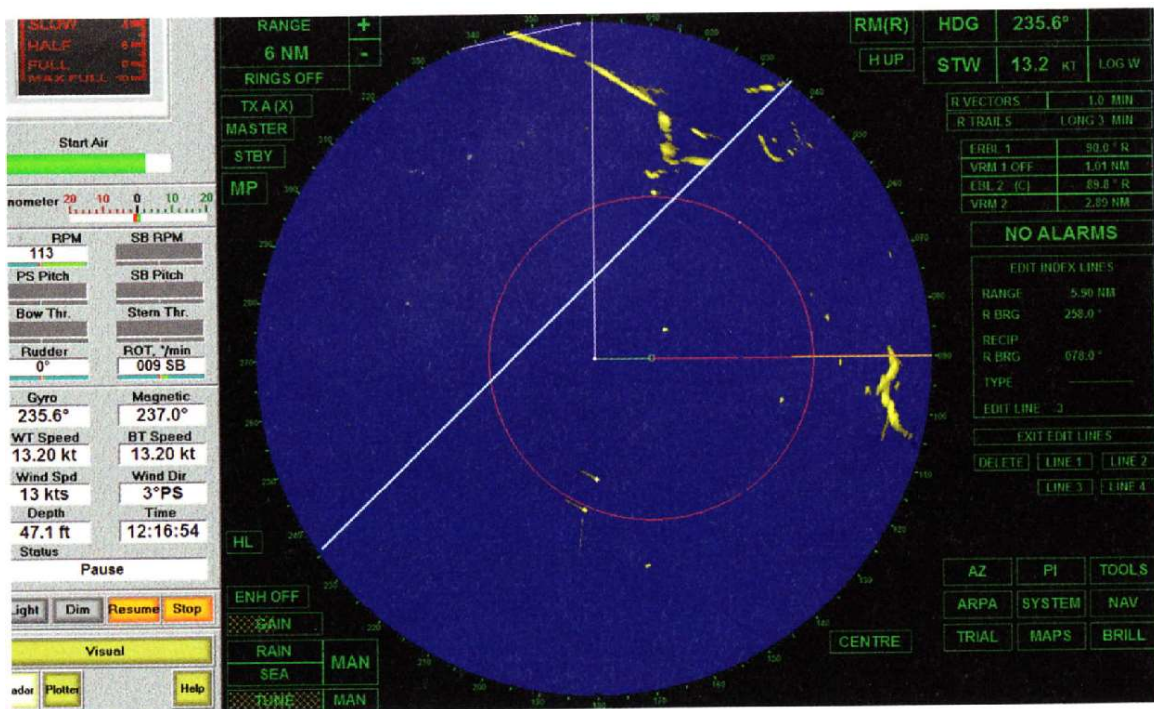


Рис. 4.23 (г) – Поворот виконується по заданій траєкторії (етап 4)

На завершальному етапі судно виходить на новий курс. Контроль здійснюється за допомогою паралельних індексних ліній, які підтверджують правильність виконання маневру та відсутність поперечного відхилення.

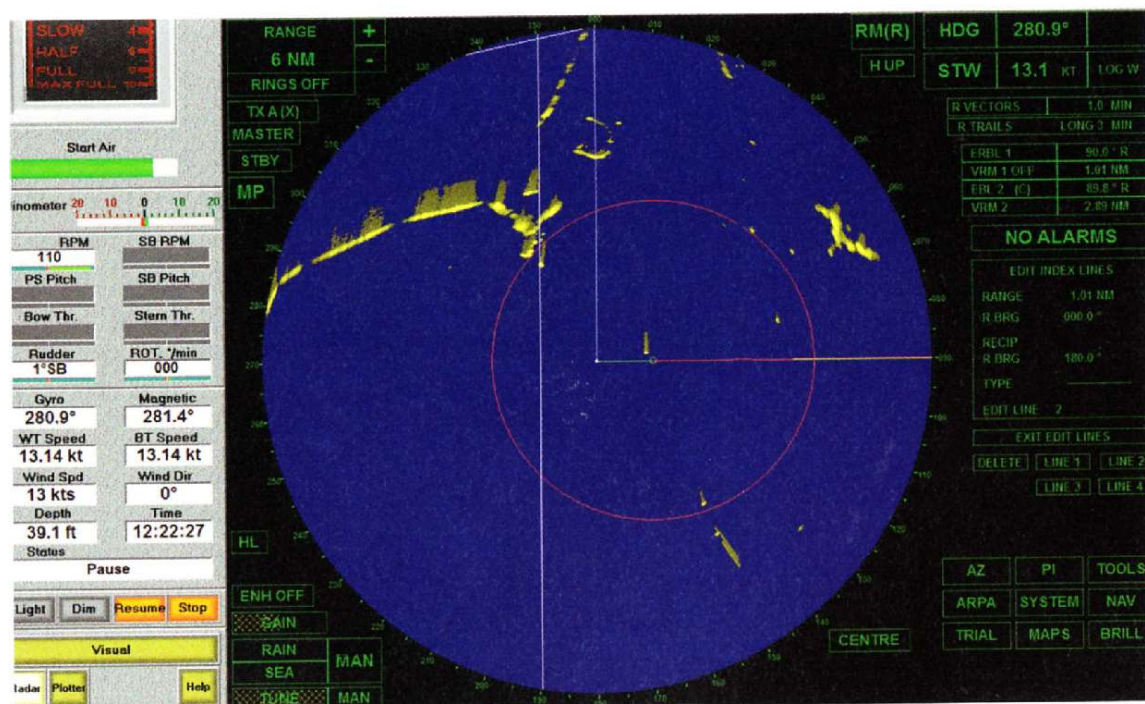


Рис. 4.23 (д) – Вихід на новий курс (етап 5)

Аналогічна послідовність може бути реалізована і в режимі *north-up*. Однак у цьому випадку сприйняття процесу ускладнюється, оскільки судноводій змушений одночасно враховувати зміну курсу судна та орієнтацію зображення відносно півночі. У результаті зростає кількість рухомих елементів, що підвищує когнітивне навантаження і ймовірність помилки.

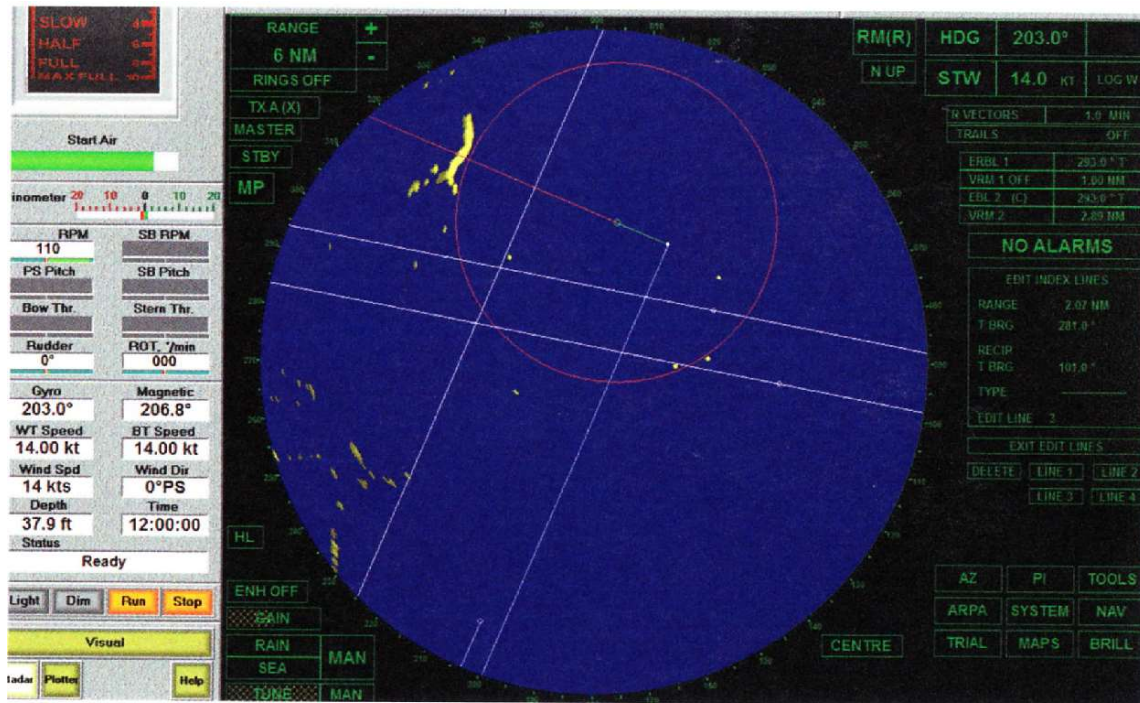


Рисунок 4.24 (а) – Виконання повороту методом концентричного індексування у режимі «north-up» (етап 1)

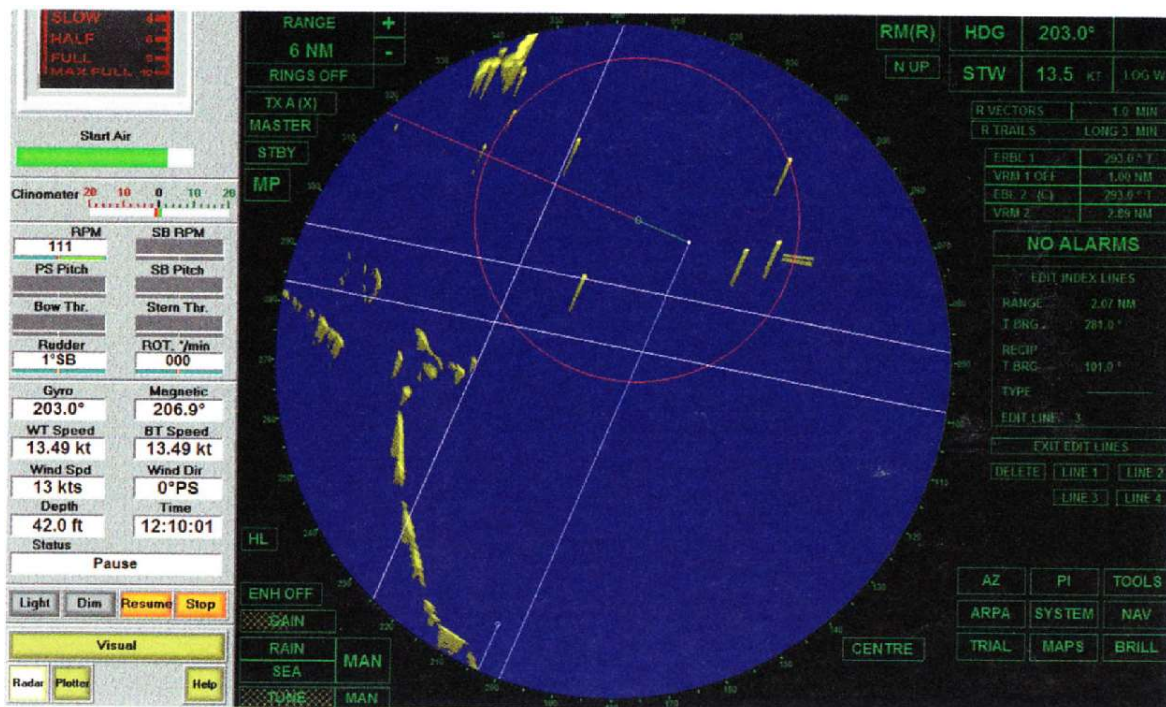


Рисунок 4.24 (б) – Виконання повороту методом концентричного індексування у режимі «north-up» (етап 2)

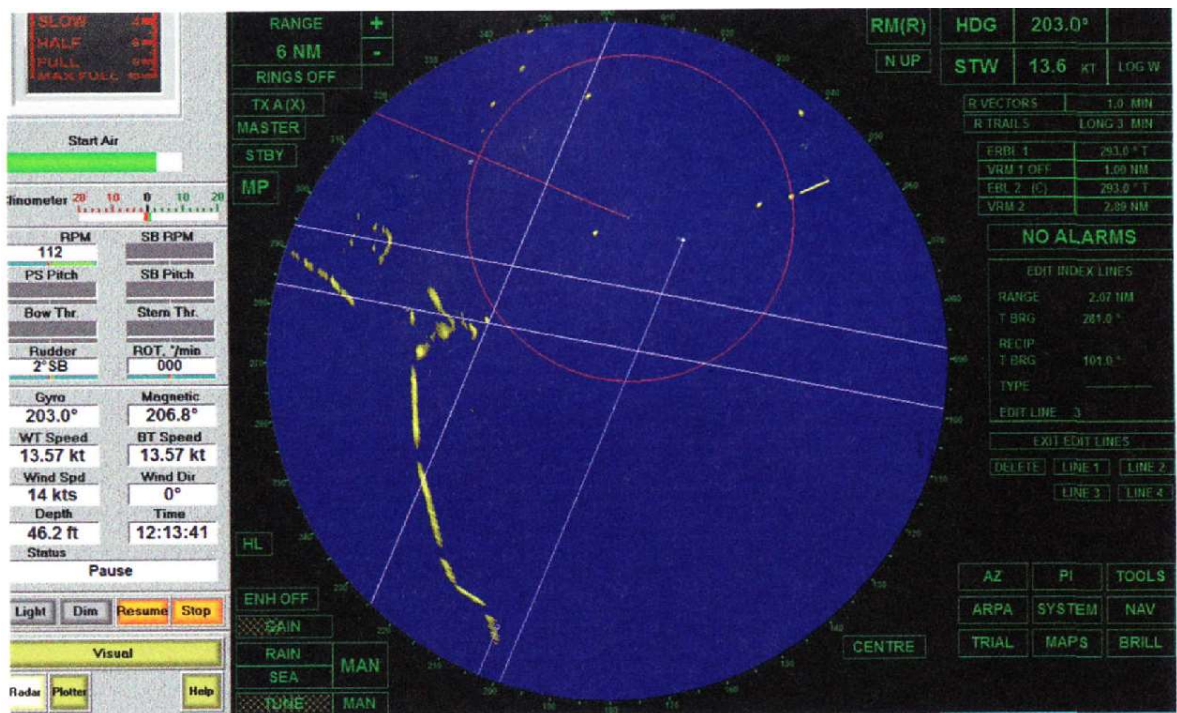


Рисунок 4.24 (в) – Перекладка руля (етап 3)

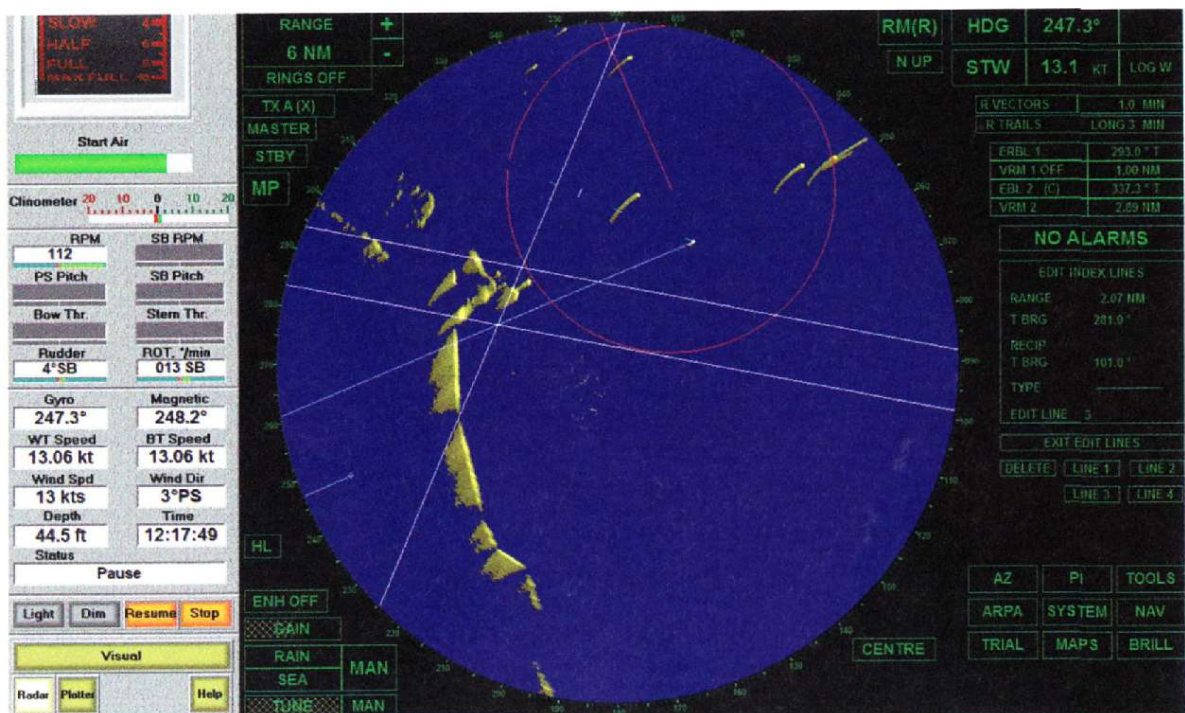


Рисунок 4.24 (г) – Поворот виконується правильно (етап 4)

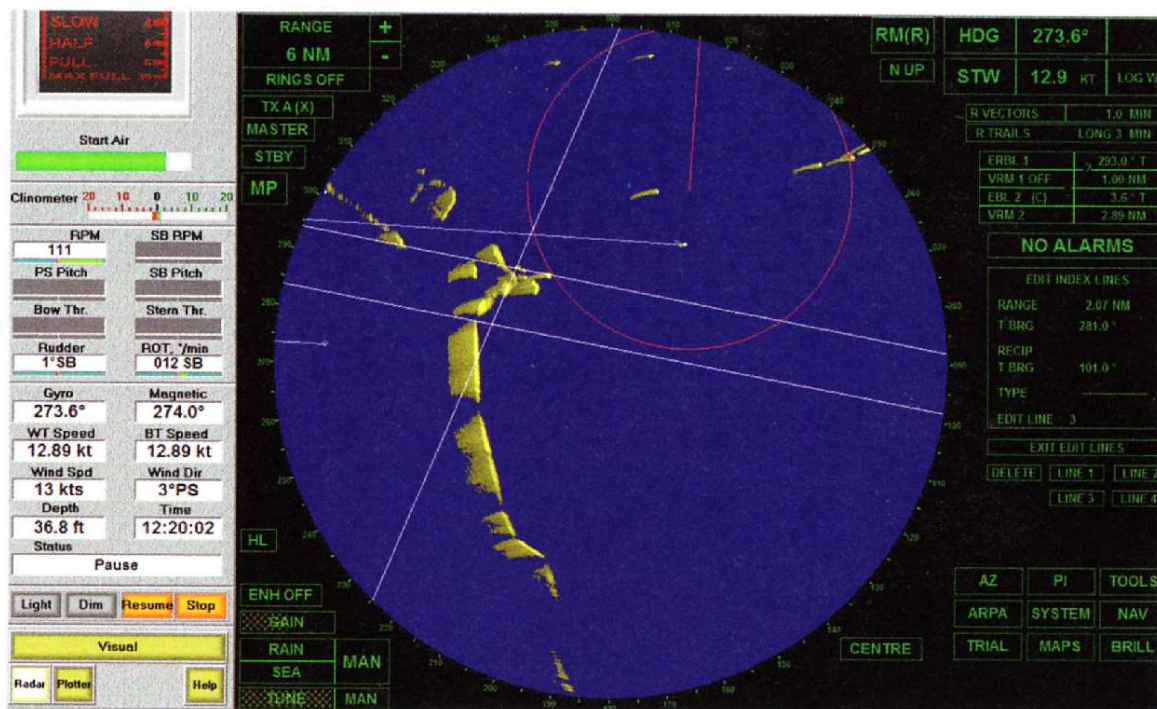


Рисунок 4.24 (д) – Поворот виконується правильно (етап 5)

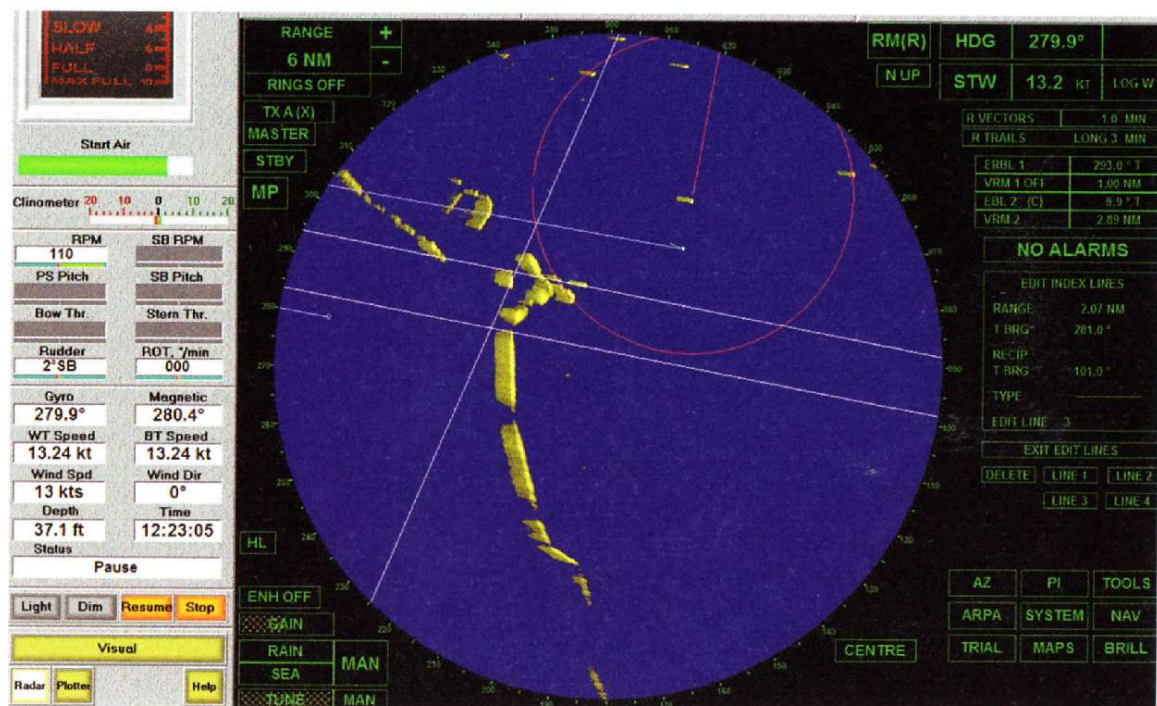


Рисунок 4.24 (е) – Вихід на новий курс (етап 6)

Розглянутий приклад демонструє принципову особливість радіолокаційного контролю: управління здійснюється не за абсолютними координатами, а за відносним положенням об'єктів і геометрією руху. Саме це забезпечує високу оперативність прийняття рішень і дозволяє своєчасно виявляти та коригувати відхилення.

Водночас ефективність такого підходу безпосередньо залежить від правильного вибору опорних об'єктів, точності початкового планування та

здатності судноводія інтерпретувати радіолокаційне зображення без спрощень і припущень.

4.2.5. Додаткові радіолокаційні інструменти керування

Сучасні радіолокаційні системи доповнюють класичні засоби контролю руху судна рядом функцій, що дозволяють візуалізувати майбутню траєкторію руху безпосередньо на екрані. Однією з таких функцій є так званий криволінійний маркер курсу (*Curved Heading Marker*), який формує попереду судна прогнозовану траєкторію з урахуванням заданих параметрів руху.

Формування цієї кривої базується на введенні зміни курсу, радіуса повороту або швидкості зміни курсу, а також швидкості судна і часових параметрів. У результаті судноводій отримує наочне уявлення про те, як саме буде розвиватися маневр ще до його фактичного виконання. Це особливо корисно при виконанні складних поворотів у обмежених водах, коли просторове мислення має працювати з випередженням.

Важливо підкреслити, що така траєкторія повинна мати коректну опорну прив'язку. Найбільш надійним є використання стаціонарної радіолокаційної цілі, що дозволяє сформувати незалежну локальну систему координат. Використання лише супутникових даних знижує цінність цього інструменту як резервного засобу контролю.

У ряді систем криволінійний маркер може бути зміщений або відокремлений від основної курсової лінії, що дозволяє використовувати його як допоміжний інструмент при підготовці повороту. У поєднанні з іншими засобами, такими як EBL, VRM і паралельні індексні лінії, він формує цілісну систему прогнозування і контролю маневру.

4.2.6. Точне позиціювання при маневруванні

Окремий клас задач пов'язаний не лише з контролем траєкторії, а з необхідністю досягнення точно визначеної точки у просторі в конкретний момент часу. До таких задач належать постановка судна на якір або визначення моменту початку повороту.

Радіолокатор дозволяє реалізувати ці задачі з високою точністю за допомогою поєднання паралельних індексних ліній, EBL та VRM. Сутність підходу полягає у створенні на екрані системи відліку, яка дозволяє безпосередньо контролювати відстань до заданої точки.

При плануванні постановки на якір визначається позиція віддачі якоря з урахуванням розташування контрольної точки судна (CCRP). Оскільки місток не співпадає з місцем розташування якоря, виконується попереднє геометричне зміщення, що дозволяє визначити момент, коли фактичне положення якоря відповідатиме запланованій точці.

На радіолокаційному екрані формується система контролю: паралельна індексна лінія задає напрям підходу, EBL встановлюється на опорний об'єкт, а VRM визначає відстань до точки віддачі якоря. У процесі руху судно ведеться таким чином, щоб опорна точка залишалася на індексній лінії, а покази VRM безпосередньо відображали залишкову відстань до цілі.

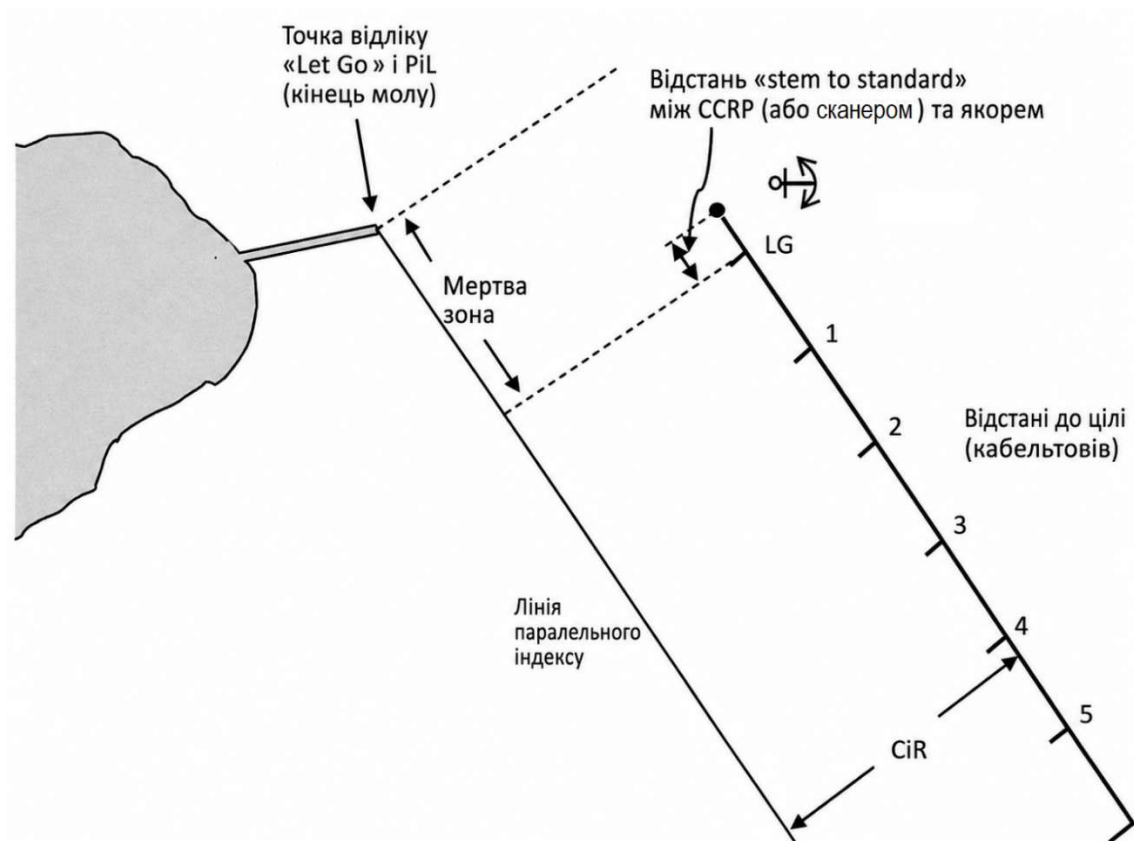


Рисунок 4.25 – Планування точної постановки судна на якір

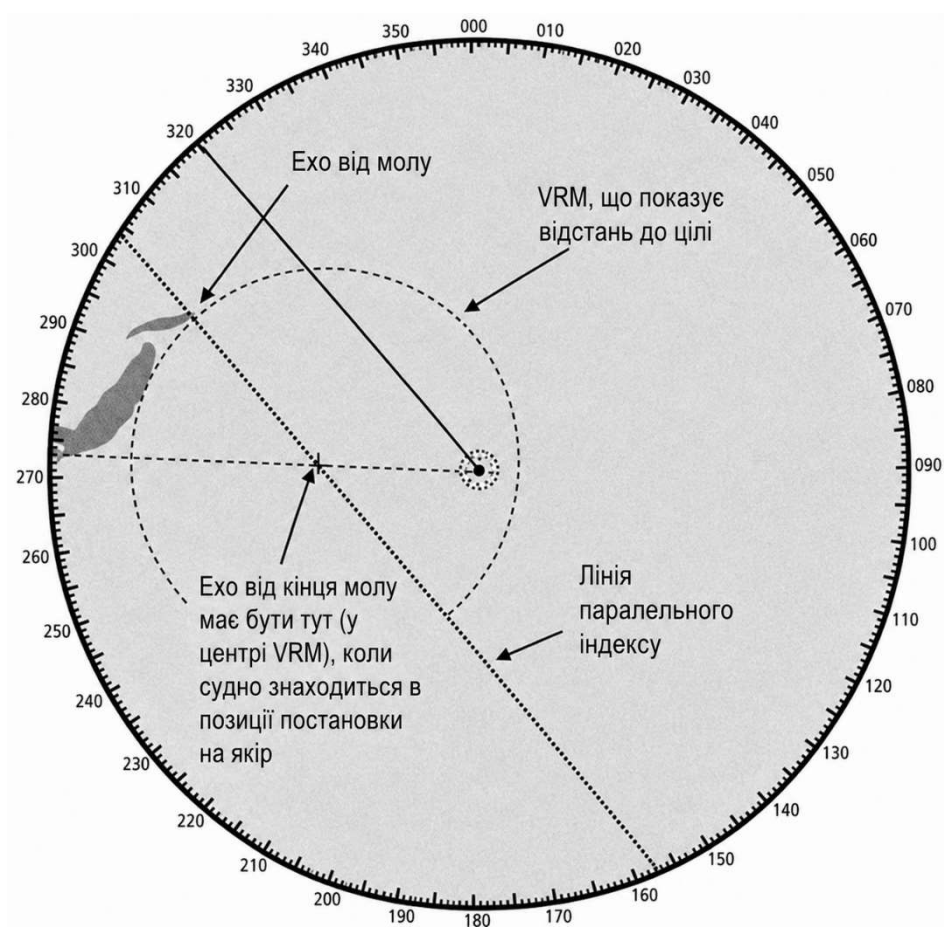


Рисунок 4.26 – Радіолокаційний контроль підходу до точки якорування

Особливу складність становить вплив течії та вітру, які можуть змінювати фактичну траєкторію підходу. У таких випадках судно часто змушене рухатися під кутом до напрямку течії, що призводить до відхилення від запланованої схеми. Для компенсації цього ефекту використовується корекція поперечного індексного відступу.

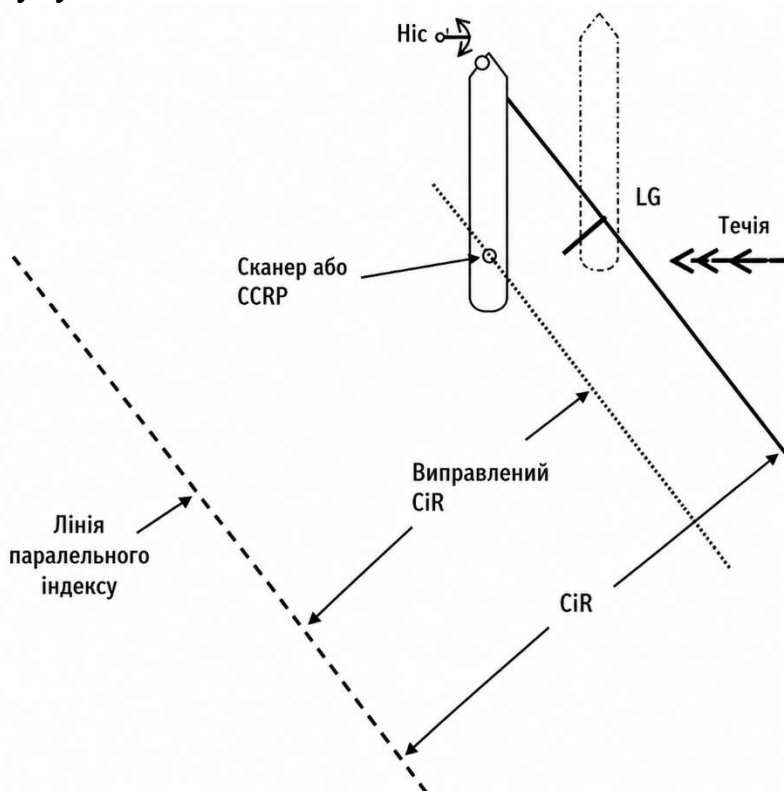


Рисунок 4.27 – Вплив дрейфу на точність постановки на якір

Аналогічний принцип застосовується і при визначенні моменту початку повороту (рис. 4.28). Використовуючи EBL і VRM, судноводій може визначити момент досягнення певної геометричної позиції, що відповідає точці *wheel-over*. Це дозволяє перейти від оцінки «на око» до точного, контрольованого маневру.

Таким чином, радар виступає не лише як засіб спостереження, а як інструмент точного позиціювання у часі та просторі.

4.2.7. Планування та контроль траєкторії руху

У сучасних інтегрованих навігаційних системах планування руху судна виходить за межі окремих маневрів і розглядається як безперервний процес формування та контролю траєкторії. Маршрут, створений на електронній карті, може бути безпосередньо відображений на радіолокаційному екрані, що дозволяє поєднати планову та фактичну інформацію в єдиній системі.

Таке планування зазвичай виконується шляхом задання послідовності шляхових точок із відповідними параметрами руху. У багатьох системах передбачено можливість інтерактивного редагування маршруту, включаючи задання радіусів поворотів у точках зміни курсу.

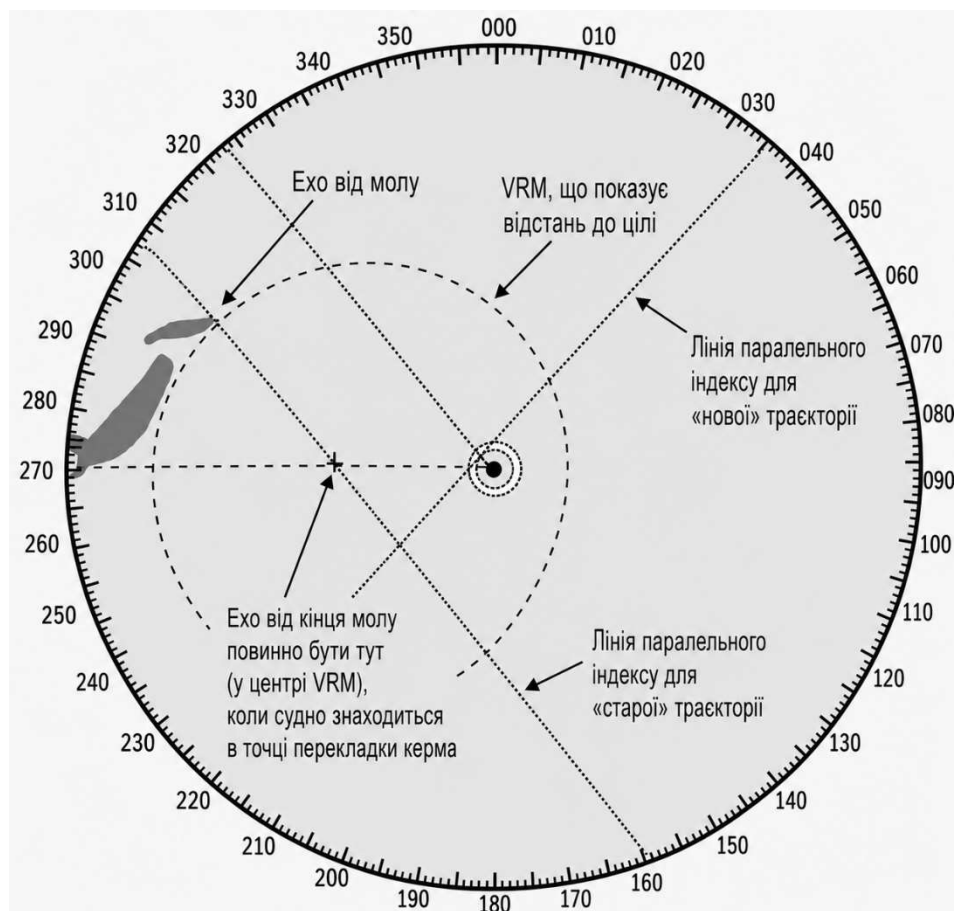
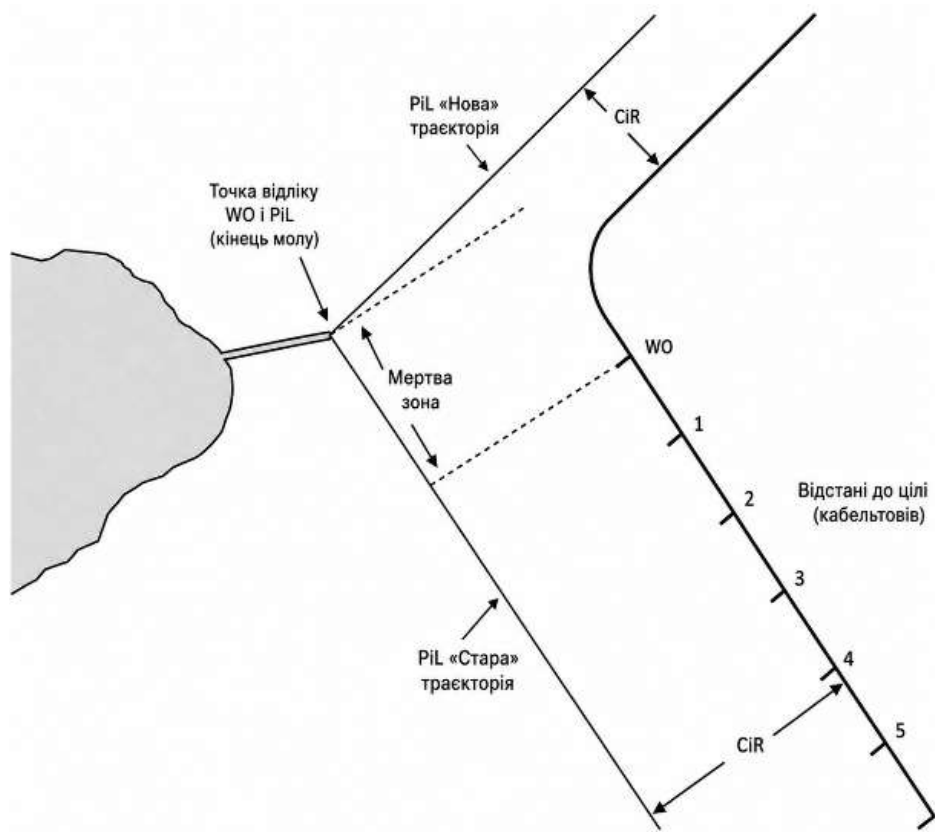


Рисунок 4.28 – Використання методу «Dead Ranging» для визначення моменту перекладки руля та його радіолокаційне відображення при зміні курсу

У результаті формується географічно прив'язана траєкторія, яка може бути складною за формою і не завжди легко співставляється з локальними радіолокаційними орієнтирами. Саме тому необхідно критично оцінювати точність як самої карти, так і системи позиціонування.

Судно може рухатися вздовж такої траєкторії як у ручному режимі, з використанням радіолокаційних засобів контролю, так і автоматично – за допомогою автопілота у режимі *track control*. У будь-якому випадку радіолокатор залишається важливим незалежним засобом перевірки, який дозволяє підтвердити відповідність фактичного руху запланованому.

4.3. Радіолокаційне забезпечення розходження суден

Після розгляду методів контролю траєкторії руху судна природним є перехід до задачі взаємодії з іншими суднами. Якщо в попередньому розділі основна увага приділялася управлінню власним рухом, то в цьому розділі йдеться про оцінювання відносного руху та прийняття рішень, спрямованих на запобігання зіткненням.

Правильне використання радіолокаційного обладнання є одним із ключових елементів діяльності вахтового помічника капітана та всієї ходової вахти. Ефективність застосування радару визначається не лише технічними характеристиками, але й глибиною розуміння принципів його роботи, можливостей і обмежень. Це необхідно як для отримання повної та достовірної інформації, так і для запобігання помилкам інтерпретації радіолокаційної картини.

Важливе значення має правильне налаштування обладнання та усвідомлення функцій органів керування. За належного рівня підготовки судноводія радар стає основним інструментом оцінювання навігаційної обстановки, особливо в умовах обмеженої видимості, коли візуальне спостереження є недостатнім або неможливим.

Історичний розвиток застосування радару на торговельному флоті суттєво вплинув на безпеку судноплавства. З'явилась можливість виявляти об'єкти, недоступні для візуального спостереження, що дозволило суднам продовжувати рух у складних метеорологічних умовах. Однак досвід експлуатації швидко показав, що сам по собі радар не гарантує безпеки.

У багатьох випадках судна продовжували рух із майже звичайною швидкістю навіть в умовах обмеженої видимості, що призводило до аварійних ситуацій. Причиною зіткнень ставала не технічна недосконалість обладнання, а помилки судноводіїв у тлумаченні отриманої інформації та прийнятті рішень.

4.3.1. Типові помилки інтерпретації радіолокаційної інформації

Аналіз аварій показує, що навіть за наявності достатньої інформації про інші судна зіткнення можуть відбуватися внаслідок неправильної оцінки ситуації. У багатьох випадках обидва судна своєчасно виявляють одне одного, однак несвоєчасні або неадекватні маневри призводять до небезпечного зближення.

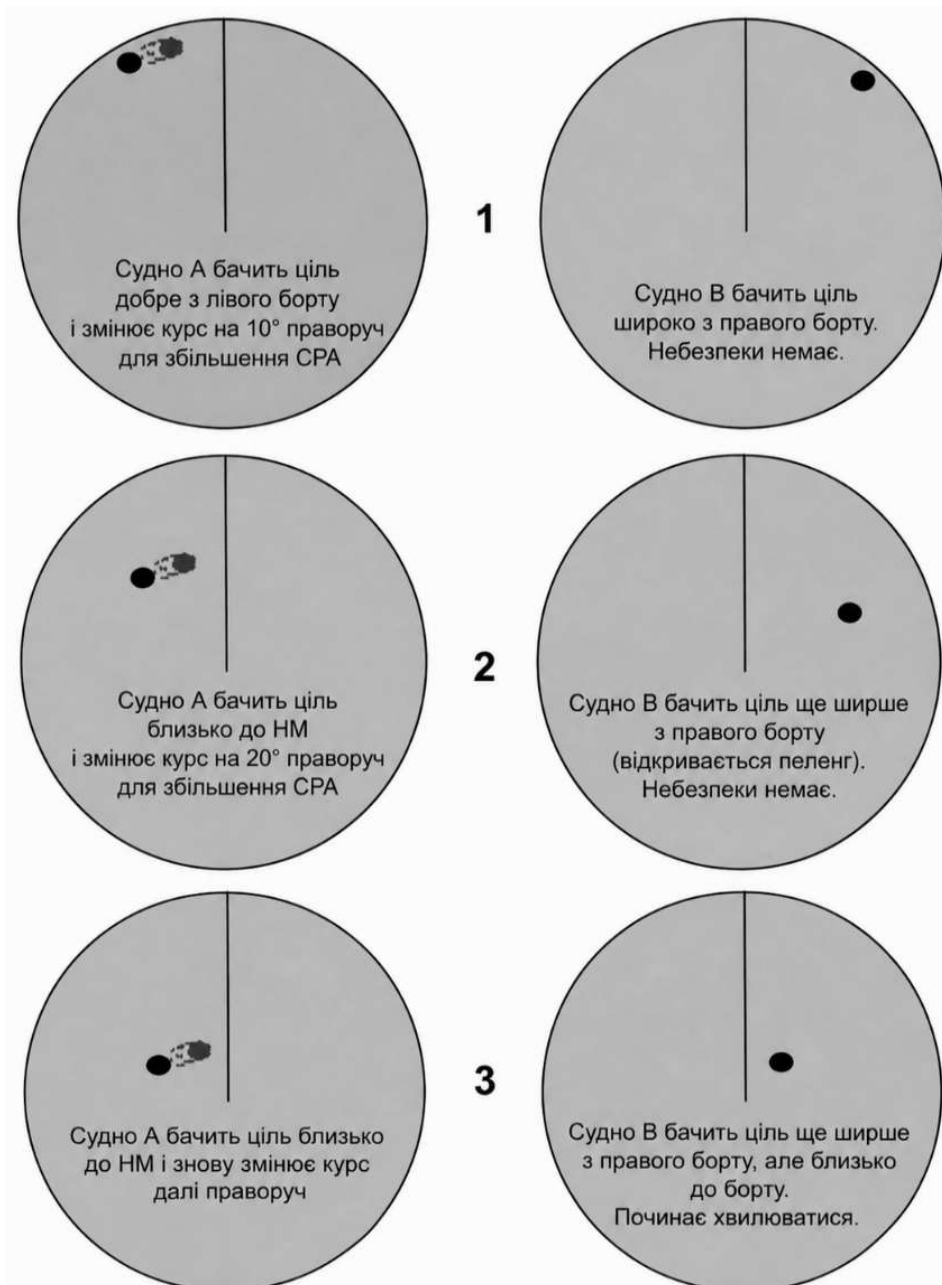


Рисунок 4.29 – Приклад розвитку аварійної ситуації за даними радіолокаційного спостереження

На рисунку 4.30 представлено типову ситуацію, коли обидва судна використовують нестабілізований режим відображення (*Head Up*) і не виконують радіолокаційну прокладку. Одне судно, спостерігаючи ціль зліва по носу, виконує послідовні відвороти вправо з метою збільшення дистанції розходження. Інше судно інтерпретує зміну пеленга як ознаку безпечного розходження і не вживає жодних заходів.

У результаті обидва судна діють на основі хибних припущень, що призводить до розвитку аварійної ситуації.

Подальший аналіз показує, що ключова помилка полягає у відсутності системного підходу до оцінки ситуації. Жодне із суден не виконувало прокладку, не визначало параметри зближення (СРА, ТСРА) і не розглядало рух іншого судна як елемент динамічної системи.

Цей приклад демонструє принципово важливе положення: радар не є автоматичним засобом забезпечення безпеки – його ефективність визначається рівнем підготовки судноводія.

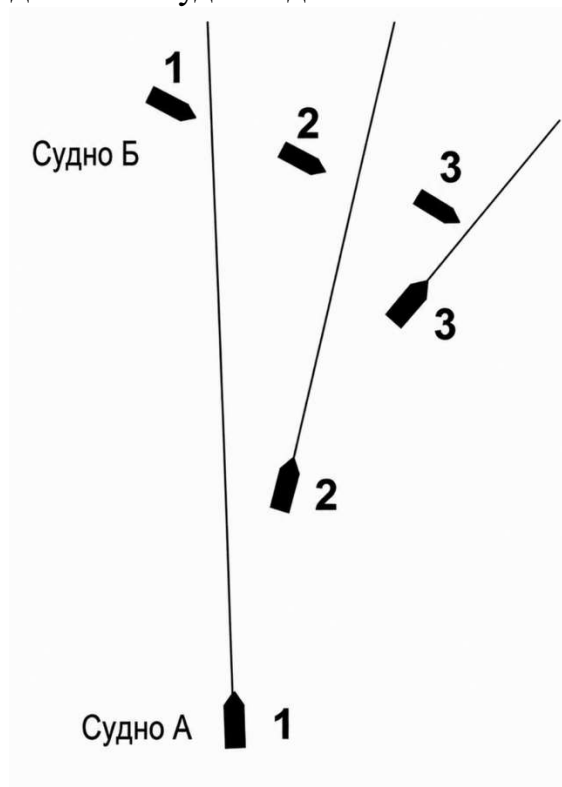


Рисунок 4.30 – Траєкторії руху суден у розглянутій ситуації.

У сучасних умовах радар фактично виконує роль центрального джерела інформації про навігаційну обстановку. Саме на його основі формується уявлення судноводія про взаємне положення суден, їх рух та потенційні загрози.

Навіть за наявності інших джерел інформації – візуального спостереження, AIS або повідомлень від спостерігача – отримані дані, як правило, співвідносяться з радіолокаційним зображенням. Виявлення цілі на екрані радару часто передують її візуальній ідентифікації, а інформація від вахтового спонукає до пошуку відповідної відмітки на радарі.

Таким чином, радар забезпечує не лише виявлення цілей, але й інтеграцію різномірної інформації в єдину навігаційну картину. Це особливо важливо в умовах інтенсивного руху, складної конфігурації акваторії або обмеженої видимості.

На цьому етапі стає очевидним, що ефективність радіолокаційного забезпечення розходження суден визначається не лише фактом виявлення цілей, а передусім здатністю судноводія правильно інтерпретувати отримані дані та приймати своєчасні рішення.

4.3.2. Застосування даних

Незалежно від того, яким способом отримано інформацію про можливе небезпечне зближення – шляхом ручної прокладки, за допомогою ARPA або АТА, чи з використанням даних AIS, – її застосування завжди пов'язане з необхідністю

комплексної оцінки. Сам факт наявності даних ще не означає, що ситуація зрозуміла або контрольована. Ключовим є те, як саме ці дані інтерпретуються і використовуються для прийняття рішення.

Передусім необхідно оцінити надійність отриманої інформації. Вона визначається як способом її отримання, так і якістю вихідних даних. Наприклад, результати ручної прокладки значною мірою залежать від досвіду виконавця, тоді як автоматизовані системи, такі як ARPA, забезпечують стабільність обчислень, але не позбавлені власних похибок. У будь-якому випадку радіолокаційні вимірювання мають притаманні їм неточності, які повинні враховуватися при оцінці ситуації. Саме тому в практиці судноводіння прийнято компенсувати невизначеність шляхом завчасних і достатньо рішучих дій.

Наступним кроком є аналіз даних про ціль. Базовими параметрами залишаються CPA і TCPA, які дозволяють оцінити характер зближення. Однак ці величини не повинні розглядатися ізольовано. Важливим є питання прийнятності прогнозованої дистанції зближення, яка залежить від конкретних умов плавання. Та сама величина CPA може бути абсолютно безпечною у відкритому морі і водночас неприйнятною в умовах обмеженої видимості або інтенсивного руху.

Оцінюючи рух цілі, судноводій фактично працює на двох рівнях. З одного боку, ціль може розглядатися ізольовано, що дозволяє визначити наявність або відсутність загрози на основі її відносного руху. Навіть у випадках, коли небезпека не є очевидною, доцільно сформулювати уявлення про курс і швидкість цілі, особливо якщо вона проходить на малій відстані. Поняття «близького проходження» при цьому залишається відносним і залежить від загальної навігаційної обстановки.

З іншого боку, рух кожної цілі повинен оцінюватися в контексті загальної ситуації. У реальних умовах судно рідко взаємодіє лише з одним об'єктом. Наявність інших суден, навігаційних обмежень або особливостей акваторії може істотно впливати на поведінку цілі. Саме в цьому аспекті автоматизовані засоби супроводження, такі як ARPA або АТА, набувають особливого значення, оскільки дозволяють одночасно аналізувати декілька об'єктів і їх взаємний рух.

Додаткову інформацію для оцінки ситуації можуть надавати інтегровані системи відображення, зокрема радар із накладанням карти або ECDIS із радіолокаційною інформацією. Наявність на екрані судноплавних смуг, буїв або інших елементів навігаційної обстановки дозволяє краще зрозуміти логіку руху інших суден і передбачити їх можливі дії.

Разом із тим навіть найбільш повна інформаційна картина не усуває необхідності прогнозування. Судноводій повинен оцінювати не лише поточний рух цілі, але й можливі зміни її курсу або швидкості. Такі зміни можуть бути зумовлені взаємодією з іншими суднами, наближенням до навігаційних орієнтирів або виконанням маневрів за правилами розходження.

У підсумку застосування радіолокаційних даних не зводиться до механічного аналізу параметрів зближення. Воно передбачає формування цілісного уявлення про динамічну ситуацію, у якій кожне судно розглядається як активний елемент, здатний змінювати свою поведінку. Саме ця здатність до

інтерпретації і прогнозування визначає ефективність дій судноводія і рівень безпеки плавання.

4.3.3. Вибір дій для уникнення небезпечного зближення

Після оцінки навігаційної обстановки та аналізу параметрів зближення наступним етапом є вибір конкретних дій для запобігання зіткненню. Саме на цьому етапі професійне судження, досвід і знання правил судноводіння набувають вирішального значення.

Нормативною основою таких дій є вимоги МПЗЗС-72, які визначають загальні принципи поведінки суден у різних ситуаціях. Особливе значення має правило 8, яке вимагає, щоб дії для уникнення зіткнення виконувалися завчасно, були рішучими і достатньо значними, щоб їх можна було чітко виявити як радіолокаційними засобами, так і візуально. При цьому підкреслюється, що серії малих змін курсу не є ефективними і можуть лише ускладнювати оцінку ситуації іншими суднами.

Практика судноводіння показує, що найбільш ефективними є ранні значні зміни курсу, виконані в умовах, коли судно має достатній простір для маневрування і може повною мірою використати свої маневрені можливості. Зволікання з прийняттям рішення часто призводить до ситуації, коли маневр доводиться виконувати в обмежених умовах або із застосуванням зменшення швидкості, що значно ускладнює управління і підвищує залежність від дій іншого судна.

Особливої уваги потребують ситуації, коли судна не знаходяться у взаємній видимості. У таких умовах діє правило 19, яке встановлює специфічні обмеження щодо вибору маневру. Важливо розуміти, що в цих умовах не існує «привілейованого» судна: кожне судно, яке виявило ризик зіткнення за допомогою радара, зобов'язане вжити заходів для його уникнення. Очікування дій від іншого судна є помилковою і небезпечною практикою.

Правило також накладає обмеження на характер маневру. Зокрема, слід уникати зміни курсу вліво для судна, що знаходиться попереду траверзу, за винятком випадків обгону, а також зміни курсу в бік судна, що знаходиться на траверзі або позаду траверзу. Однак ці обмеження не повинні трактуватися формально. Якщо інше судно не створює небезпеки, то відповідний маневр може бути допустимим, за умови що він не призведе до виникнення нової ситуації небезпечного зближення.

У складних умовах, коли одночасно взаємодіє декілька суден, оцінка ситуації повинна виконуватися з урахуванням усіх об'єктів. Маневр, спрямований на уникнення одного судна, не повинен створювати небезпеки відносно іншого. У цьому контексті особливо корисною є функція пробного маневру (*trial manoeuvre*), яка дозволяє заздалегідь оцінити наслідки запропонованих дій.

Важливим аспектом є також розуміння впливу виконаного маневру на подальший розвиток ситуації. У простих випадках результат може бути очевидним, наприклад, коли значна зміна курсу дозволяє перевести ціль із небезпечного сектора в безпечний. Однак у більш складних ситуаціях, зокрема

при малих відносних швидкостях або при взаємодії декількох суден, оцінка наслідків маневру потребує розвиненого просторового мислення і досвіду.

Під час виконання маневру може виникати короточасна невизначеність. У режимі відносного руху траєкторії цілей можуть змінюватися складним чином до моменту стабілізації власного судна на новому курсі або швидкості. У таких умовах режим істинного руху забезпечує більш наочне уявлення про ситуацію. Додаткову складність створює робота автоматизованих систем супроводження, оскільки під час активного маневру вони можуть тимчасово видавати нестабільні або суперечливі дані.

Після завершення маневру контроль ситуації повинен продовжуватися. Необхідно переконатися, що виконана дія дійсно призвела до безпечного розходження і що жодне з інших суден не здійснило маневр, який змінює характер зближення. Передчасне припинення спостереження є типовою помилкою і може призвести до повторного виникнення небезпечної ситуації.

Таким чином, вибір дій для уникнення небезпечного зближення є не окремою операцією, а безперервним процесом, що включає оцінку, прогнозування, виконання маневру та подальший контроль. Саме ця послідовність визначає ефективність радіолокаційного забезпечення розходження суден і рівень безпеки плавання.

4.3.4. Інтегрована оцінка навігаційної ситуації та дій інших суден

Після визначення власних дій для уникнення небезпечного зближення необхідно враховувати ще один фактор, який залишається найбільш невизначеним, – можливі дії інших суден. У більшості випадків поведінка цілей відповідає очікуванням, однак жодних гарантій цього не існує. Інше судно може не вести належного спостереження, не мати справного радіолокаційного обладнання або взагалі не усвідомлювати наявності небезпечного зближення.

Додаткові ускладнення виникають у випадках, коли судно-ціль обмежене своїми характеристиками або умовами експлуатації. Воно може бути обмежене осадкою, виконувати буксирні операції або інші роботи, що впливають на його маневреність. Навіть за наявності інформації через AIS, УКХ-зв'язок або служби регулювання руху немає впевненості, що ці дані є повними або своєчасними.

Особливу складність становлять ситуації, у яких дії іншого судна зумовлені факторами, неочевидними для вахтового помічника. Наприклад, у схемах розділення руху судно, яке спочатку прокладається як таке, що проходить безпечно попереду, може змінити курс під впливом руху інших суден. Аналогічно, наближення до навігаційного орієнтира або взаємодія з іншими цілями можуть спричинити зміну курсу або швидкості.

Окрему групу становлять малі та рибальські судна, поведінка яких часто є непередбачуваною. Їх маневри можуть бути спрямовані на уникнення перешкод великому судну, однак фактично ускладнюють інтерпретацію ситуації. Різниця у сприйнятті безпечної дистанції між малим судном і великим танкером може призводити до взаємно неузгоджених дій.

У таких умовах єдиним надійним підходом залишається виконання ранніх і достатньо значних маневрів, які залишають можливість для подальших корекцій.

Це дозволяє зберігати резерв маневреності у випадку, якщо судно-ціль виконає несподівану дію.

Водночас навіть за доброї видимості радіолокатор залишається важливим допоміжним засобом. Візуальне спостереження є основним джерелом інформації, однак радар і AIS дозволяють уточнити параметри руху, підтвердити оцінку ситуації і виявити потенційні загрози на ранньому етапі. Частина цієї інформації може бути надлишковою, але саме її наявність дозволяє судноводію впевнено відкидати другорядні фактори і зосереджуватися на суттєвому.

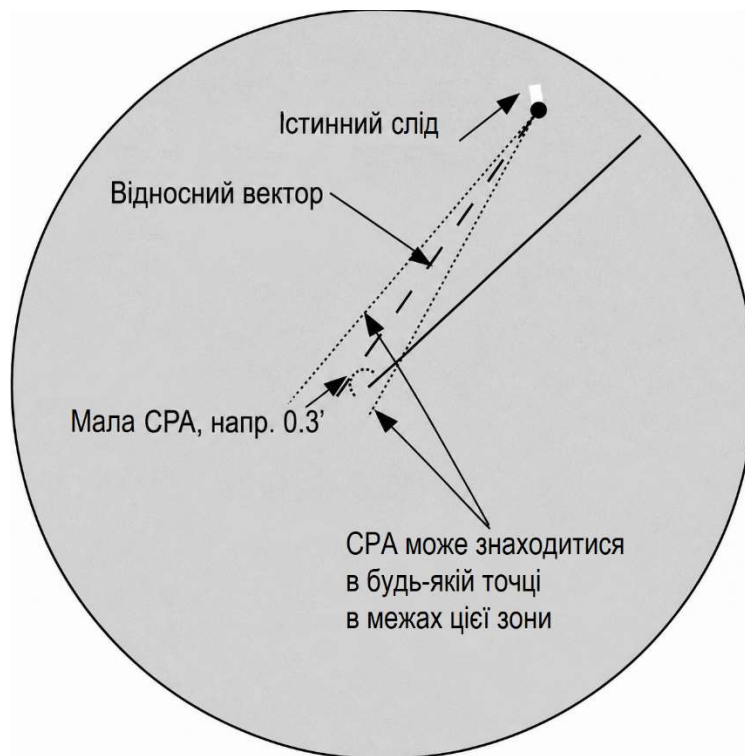


Рисунок 4.31 – Допустимий інтервал значень CPA

Оцінювання навігаційної ситуації на практиці відбувається на двох взаємопов'язаних рівнях. Перший рівень можна умовно назвати оперативним: він включає сприйняття ситуації, оцінку загрози та реалізацію конкретного маневру. Другий рівень є більш глибоким і передбачає аналіз прокладки, співставлення її з реальною обстановкою, застосування правил та розгляд альтернативних варіантів дій.

Такий аналіз може здійснюватися як у формі обговорення в межах місткової команди, так і у вигляді внутрішнього процесу мислення судноводія. Його систематичне застосування сприяє формуванню здатності швидко і обґрунтовано приймати рішення в складних умовах.

Для ілюстрації цього підходу розглянемо типову ситуацію перетину курсів у умовах обмеженої видимості. Ціль знаходиться приблизно на відстані 8 миль, з правого борту під кутом близько 40° , із прогнозованим CPA близько 0,5 милі через 20 хвилин. Інших цілей поблизу немає, обмеження для маневрування відсутні.

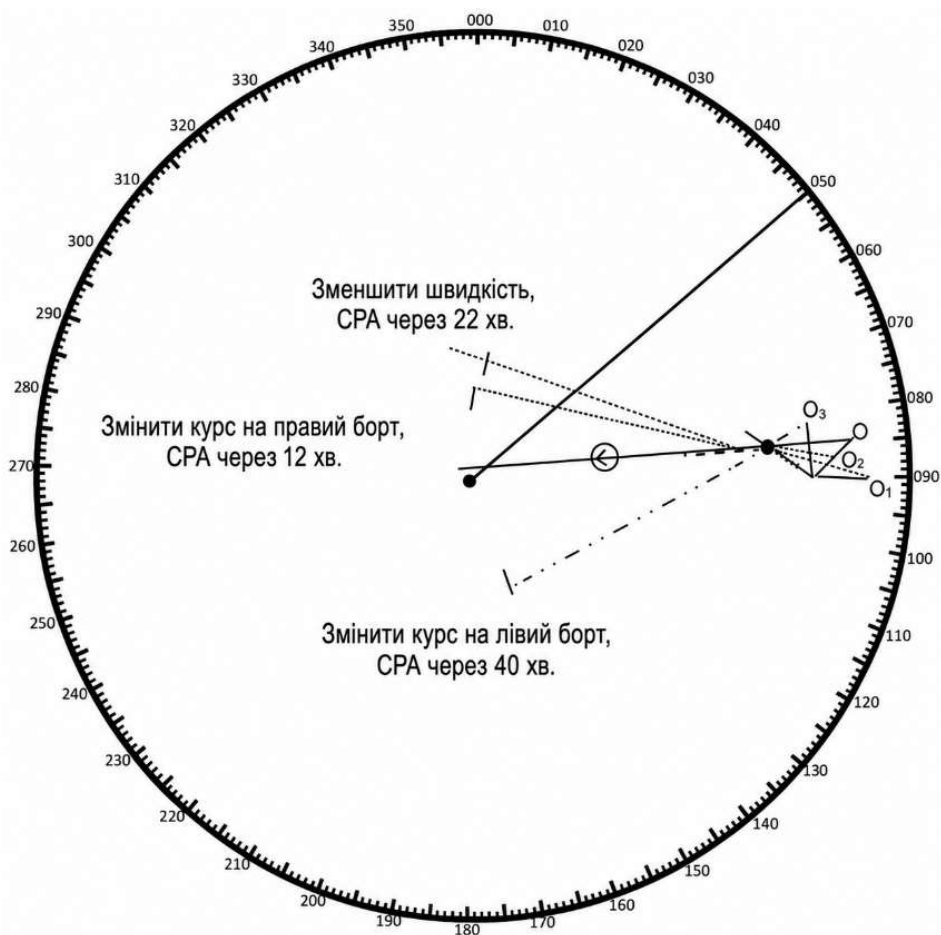


Рисунок 4.32 – Ситуація перетину курсів для оцінювання варіантів дій

Початковою реакцією у такій ситуації, як правило, є значна зміна курсу вправо, що повністю відповідає вимогам правил і забезпечує безпечне розходження. Однак більш глибокий аналіз дозволяє розглянути й інші варіанти. Наприклад, помірна зміна курсу може забезпечити достатню дистанцію розходження з меншим відхиленням від маршруту. Зменшення швидкості або навіть зупинка також можуть бути ефективними, але мають свої обмеження.

Невелика зміна курсу, хоча й може бути достатньою з точки зору геометрії, не відповідає принципу рішучих дій, оскільки може бути недостатньо помітною для іншого судна. Зменшення швидкості також має суттєвий недолік – воно знижує маневреність і обмежує можливості для подальших дій. Зміна курсу вліво, навіть якщо вона забезпечує безпечне розходження, суперечить рекомендаціям правил і призводить до збільшення часу взаємного зближення.

У підсумку найбільш обґрунтованим рішенням залишається значна зміна курсу вправо при збереженні швидкості. Такий маневр є чітким, передбачуваним для інших суден і дозволяє швидко вийти з небезпечної ситуації.

Розглянутий приклад демонструє не стільки саму відповідь, скільки процес її отримання. Саме системний аналіз ситуації, розгляд альтернатив і усвідомлене застосування правил формують той рівень підготовки, який дозволяє судноводію ефективно діяти в реальних умовах.

4.3.5. Методи визначення меж безпеки при розходженні суден

При оцінюванні загрози зближення традиційно використовуються параметри СРА і ТСРА, які дозволяють кількісно визначити характер взаємного руху суден. Вони є зручними і добре зрозумілими, однак самі по собі не формують уявлення про необхідний запас безпеки.

Безпечна дистанція розходження не є сталою величиною і залежить від комплексу факторів, зокрема розмірів суден, їх швидкості та маневрених характеристик. Наприклад, швидкісне пасажирське судно має значний запас маневреності, тоді як великий танкер або балкер, навіть при меншій швидкості, потребує значно більшого часу і простору для виконання маневру.

З цієї причини у практиці судноводіння використовуються додаткові підходи до оцінювання безпеки. Одним із них є поняття потенційних областей небезпеки (*Potential Areas of Danger, PAD*), які дозволяють розглядати ситуацію не як одну точку мінімального зближення, а як просторову область, у межах якої існує ризик зіткнення. Навіть якщо такі області не відображаються безпосередньо на радарі, їх уявне формування суттєво покращує розуміння ситуації.

Іншим корисним параметром є відстань до точки можливого зіткнення (*Distance to Collision, DTC*), яка може бути оцінена як добуток ТСРА на швидкість власного судна. Цей показник дає більш наочне уявлення про наявний простір для маневрування і дозволяє оцінити, наскільки рано необхідно починати дію.

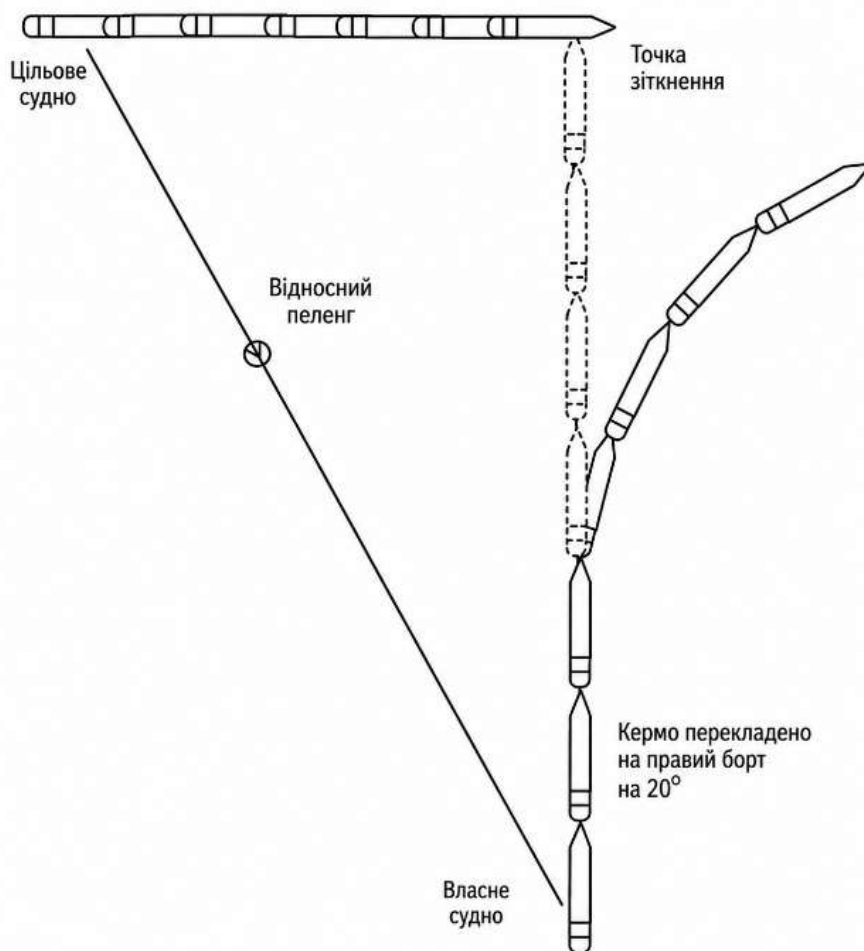


Рисунок 4.33 – Визначення дистанції до можливого зіткнення (DTC)

У практичних рекомендаціях зазначається, що початок маневру повинен виконуватися на достатній відстані, яка забезпечує запас для подальших дій. Зокрема, рекомендується розглядати дистанцію не менше кількох довжин власного судна до точки потенційного зіткнення як мінімально допустиму для початку маневру.

Окреме значення при оцінюванні ситуації має аспект цілі. Як було показано раніше, він визначає взаємну орієнтацію суден і безпосередньо впливає на характер зближення. Однак у контексті забезпечення безпеки аспект слід розглядати не як геометричний параметр, а як фактор, що визначає ефективність маневру уникнення.

За однакових значень СРА і ТСРА різні аспекти можуть призводити до принципово різних сценаріїв розвитку ситуації. У одних випадках навіть незначна зміна курсу дозволяє швидко збільшити дистанцію розходження, тоді як в інших – судна залишаються у взаємному зближенні протягом тривалого часу.

Саме тому оцінка аспекту на практиці часто має інтуїтивний характер і базується на досвіді судноводія. Спостереження за істинними векторами руху або за ходовими вогнями дозволяє сформувати уявлення про розвиток ситуації ще до отримання точних числових даних.

Тренажерна підготовка відіграє важливу роль у формуванні цього навичу. Моделювання ситуацій із різними аспектами дозволяє наочно продемонструвати їх вплив на величину СРА та характер розходження.

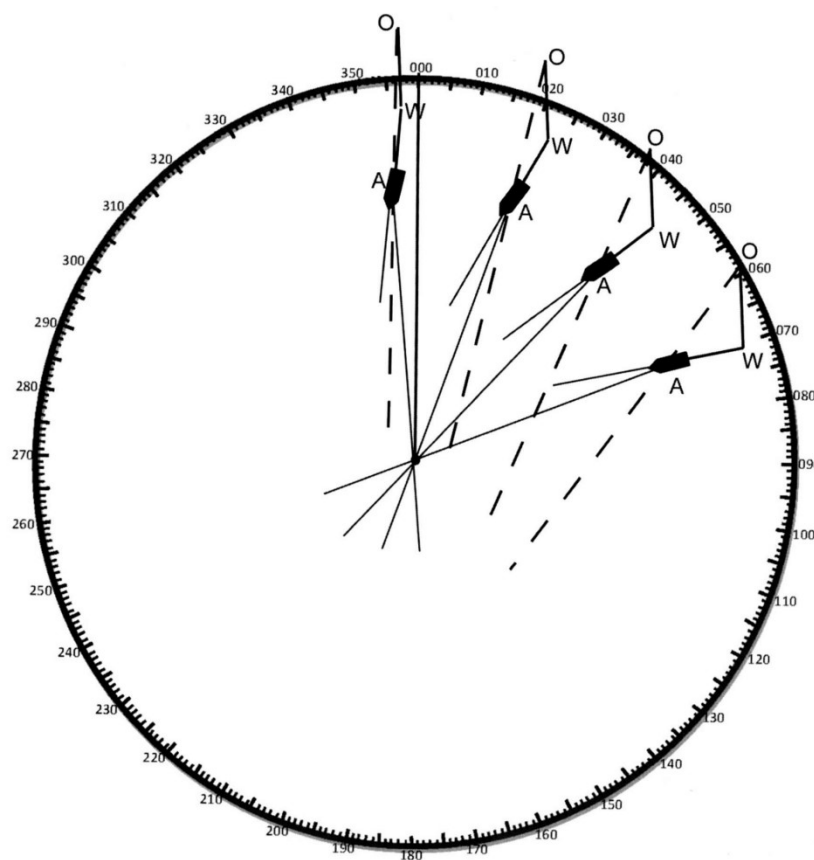


Рисунок 4.34 – Вплив аспекту на параметри зближення при однакових швидкостях суден

Такі вправи сприяють формуванню просторового мислення і дозволяють судноводію переходити від формального аналізу параметрів до інтуїтивного розуміння ситуації. Водночас слід враховувати, що жодне моделювання не може повністю замінити практичний досвід, зокрема у частині оцінювання відстаней і масштабів ситуації.

У підсумку визначення меж безпеки при розходженні суден базується не на окремих числових параметрах, а на їх комплексній інтерпретації. Саме поєднання СРА, ТСРА, DTC, аспекту та загальної навігаційної обстановки дозволяє сформувати обґрунтоване рішення щодо безпечного маневру.

4.4. Уникнення ситуацій небезпечного зближення

Ситуацію небезпечного зближення доцільно розглядати як таку, у якій для запобігання зіткненню вже необхідно вдаватися до різких і вимушених дій. У подібних умовах судноводій змушений застосовувати значні перекладки керма, виконувати великі зміни курсу або навіть зменшувати швидкість до повної зупинки чи давати хід назад. Очевидно, що такі дії свідчать про втрату часу на попередніх етапах оцінювання ситуації.

Саме тому основний акцент у забезпеченні безпеки повинен робитися не на діях у критичній фазі, а на недопущенні її виникнення. Питання управління судном у крайніх ситуаціях належить до ширшої області судноводіння, однак вахтовий помічник повинен бути повністю підготовлений до таких дій, зокрема завдяки тренажерній підготовці.

Практика показує, що навіть базові аспекти управління можуть мати вирішальне значення. У ряді аварій відзначалася недостатня обізнаність щодо органів керування двигунами і процедур зміни режимів руху. Це підкреслює необхідність комплексної підготовки, яка поєднує навігаційні та технічні знання.

Ключовим принципом уникнення небезпечного зближення є виконання ранніх дій. Це поняття не має точного визначення, оскільки залежить від багатьох факторів, однак у практичному розумінні рання дія – це дія, яка виконується тоді, коли судноводій ще повністю контролює ситуацію і може впевнено прогнозувати її розвиток.

Зазвичай така дія полягає у зміні курсу, яка не потребує значної перекладки керма, але забезпечує негайне збільшення дистанції розходження до прийнятного значення. У відкритому морі це, як правило, близько 2 миль або більше, хоча конкретна величина залежить від умов обстановки.

Якщо момент ранньої дії втрачено, ситуація переходить у фазу пізньої дії. У цьому випадку необхідні більш рішучі заходи – значні зміни курсу або швидкості. При цьому часу на уточнення прокладки або встановлення зв'язку вже немає – рішення повинно прийматися негайно.

Подальше зволікання означає, що ситуація переходить у фазу небезпечного зближення, де можливості маневру різко обмежуються і будь-яка дія стає вимушеною.

Таблиця 4.1 – Величина зміни курсу у ситуації «поступися дорогою»

Відносний пеленг (градуси)	10 кт / 20 кт	15 кт / 20 кт	15 кт / 15 кт	20 кт / 15 кт	25 кт / 10 кт
015	35	27	22	12	18
030	35	27	23	17	13
045	39	30	25	24	—
060	43	30	25	—	—
075	50	37	26	—	—
090	65	50	—	—	—
100	75	60	—	—	—
110	95	76	—	—	—

Практичні залежності показують, що величина зміни курсу для забезпечення заданої дистанції розходження залежить від співвідношення швидкостей суден. Повільніше судно відносно швидкості цілі потребує більшої зміни курсу за однакових умов.

Разом із тим ці залежності не повинні застосовуватися формально. Вимога виконання ранніх і достатньо значних дій означає, що початкова зміна курсу в більшості випадків повинна перевищувати розрахункові значення. Маневр повинен бути очевидним для іншого судна.

Після досягнення безпечного розходження судно може поступово повертатися на початковий курс із постійним контролем ситуації.

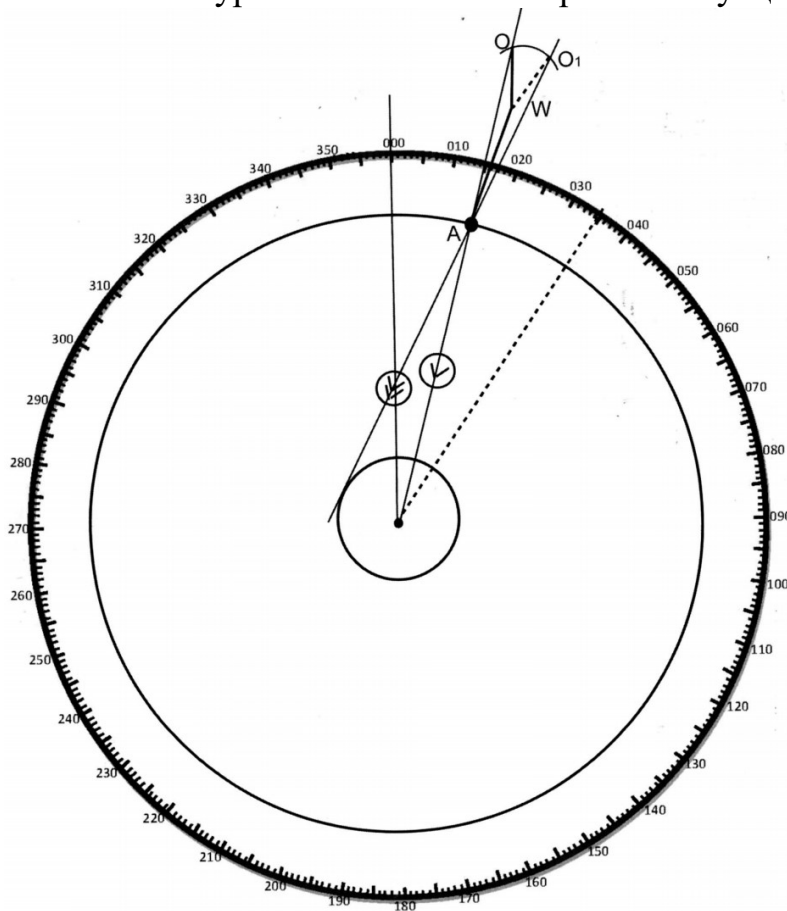


Рисунок 4.35 – Мінімальна зміна курсу для забезпечення безпечного розходження

У практиці часто застосовується прийом проходження за кормою іншого судна. Він дозволяє спростити ситуацію, однак не дає точного уявлення про дистанцію розходження і має обмеження, особливо при малих аспектах або в умовах обмеженої видимості.

У підсумку уникнення небезпечного зближення визначається не стільки вибором маневру, скільки своєчасністю його виконання. Саме здатність діяти на ранньому етапі забезпечує збереження контролю над ситуацією і мінімізує ризик розвитку аварійних умов.

4.4.1. Коли судно, що повинно поступитися дорогою, не виконує своїх обов'язків

Це одна з найбільш напружених і складних ситуацій у практиці судноводіння. Вона може розвиватися дуже швидко, і вахтовий помічник не завжди має достатньо часу для залучення капітана або отримання додаткової допомоги. Саме тому здатність самостійно оцінити ситуацію і прийняти рішення є критично важливою.

Відповідно до вимог Правила 17(a)(ii) МПЗС-72, судно, яке має право проходу, може самостійно вжити заходів для уникнення зіткнення, як тільки стане очевидним, що судно, яке повинно поступитися дорогою, не виконує належних дій. Це положення є ключовим, оскільки дозволяє діяти ще до переходу ситуації у критичну фазу.

Найскладнішим у цьому контексті є визначення моменту, коли стає очевидним, що інше судно не буде діяти. Формально такого моменту не існує – рішення приймається на основі професійного судження. Вахтовий помічник змушений припустити, що інше судно не виконає свої обов'язки, при цьому одночасно враховуючи можливість запізненого маневру з його боку.

У сучасній практиці значну допомогу при оцінюванні подібних ситуацій надають автоматизовані засоби радіолокаційної прокладки. Безперервне супроводження цілей дозволяє контролювати зміну СРА, ТСРА, відносних векторів та інших параметрів, що характеризують розвиток зближення. Завдяки цьому судноводій отримує можливість спостерігати не лише поточний стан ситуації, але й її прогнозований розвиток.

Водночас слід пам'ятати, що жодна автоматизована система не здатна визначити момент, коли інше судно остаточно відмовилося від виконання своїх обов'язків. Навіть якщо розрахункові параметри залишаються незмінними протягом тривалого часу, інше судно може виконати маневр із запізненням. З іншого боку, очікування такого маневру протягом надто тривалого часу може призвести до втрати можливості для своєчасних дій.

Саме тому дані ARPA повинні використовуватися як інструмент підтримки прийняття рішень, а не як засіб автоматичного визначення моменту втручання. Розрахункові параметри дозволяють оцінити тенденції розвитку ситуації, однак остаточний висновок завжди залишається результатом професійного судження судноводія. Вирішальне значення мають не окремі значення СРА або ТСРА, а їх зміна в часі, поведінка векторів руху та загальна відповідність прогнозу фактичній картині зближення.

У складних умовах плавання особливо важливо уникати спокуси відкладати рішення лише тому, що автоматизована система продовжує показувати достатній запас часу. Практика свідчить, що найбільш безпечними є дії, які виконуються ще на етапі стабільного контролю ситуації, коли можливості маневрування залишаються максимальними.

Особливо важливо не допустити переходу ситуації до умов, описаних у Правилі 17(b), коли відстань між суднами стає настільки малою, що уникнення зіткнення вже не може бути забезпечене діями лише судна, що повинно поступитися дорогою. У такому випадку маневр набуває аварійного характеру і виконується вже в умовах значного обмеження часу та можливостей.

Практичним орієнтиром для прийняття рішення може слугувати оцінка дистанції до точки можливого зіткнення. Часто використовується правило, за яким дія повинна розпочинатися не пізніше ніж на відстані приблизно семи довжин власного судна до цієї точки. Для великого танкера це може відповідати дистанції близько 1,5–2 миль.

Цю відстань доцільно переводити у часову форму через параметр ТСРА. Наприклад, для судна довжиною 400 м, що рухається зі швидкістю 15 вузлів, дистанція у 7 довжин становить приблизно 2800 м або близько 1,5 милі. Відповідний час досягнення цієї точки становить близько 6 хвилин. Це означає, що при ТСРА на рівні 6 хвилин або менше дія вже є обов'язковою, і фактично її слід виконати раніше.

Очевидно, що у випадках, коли судно зобов'язане діяти відповідно до інших правил, наприклад у умовах обмеженої видимості, маневр повинен виконуватися значно раніше. Однак у ситуації, коли судно зобов'язане зберігати курс і швидкість, саме цей момент визначає перехід до самостійних дій відповідно до Правил 17(a)(ii).

Усі ці дії повинні супроводжуватися використанням встановлених світлових і звукових сигналів, які є важливим елементом взаємного розуміння між суднами і не повинні ігноруватися.

Реальні умови судноплавства рідко обмежуються взаємодією лише двох суден. У більшості випадків вахтовий помічник має справу з декількома цілями, що формують складну динамічну систему. Водночас правила розходження формально описують взаємодію саме між двома суднами, що створює необхідність застосування їх до кожної цілі окремо.

У таких умовах ключову роль відіграє не лише знання правил, але й досвід, морська практика та здатність стратегічно оцінювати ситуацію. Найефективнішим підходом є запобігання формуванню складних ситуацій ще на ранньому етапі. Це включає постійний контроль обстановки, аналіз характеру руху і своєчасне маневрування, спрямоване на розосередження суден.

Окрему проблему становить тенденція до використання однакових або близьких маршрутів, сформованих за допомогою електронних карт. Це призводить до збільшення щільності руху у прибережних районах і схемах розподілу руху. З позиції доброї морської практики такі ситуації слід враховувати ще на етапі планування переходу і по можливості уникати їх.

У районах інтенсивного руху доцільно заздалегідь займати вигідну позицію, яка дозволяє мінімізувати кількість потенційно небезпечних взаємодій. При цьому важливо, щоб вахтовий помічник мав достатню свободу дій і не був обмежений надмірно жорсткими інструкціями щодо утримання траєкторії.

Здатність ефективно діяти в таких умовах формується з досвідом. Тренажерна підготовка дозволяє відпрацьовувати подібні ситуації, однак вона не може повністю замінити реальну практику, де присутній фактор відповідальності і психологічного навантаження.

У цьому контексті важливим є підтримання так званої «зони комфорту», тобто стану, при якому жодна ціль не створює критичної загрози, і судноводій має достатній час для прийняття обґрунтованих рішень. Підтримання такої зони дозволяє знизити рівень стресу і, відповідно, ймовірність помилок.

У підсумку ефективне управління ситуацією з декількома цілями базується на здатності передбачати розвиток обстановки, діяти на випередження і не допускати переходу до критичних станів.

4.4.2. Схеми розподілу руху

У більшості випадків судно входить у схему розподілу руху на її початку, рухається по смузі у встановленому напрямку разом з іншими суднами і залишає її у кінцевій частині. У таких умовах радіолокаційна картина має характерні особливості: істинні вектори більшості суден спрямовані приблизно в одному напрямку, тоді як відносні вектори є невеликими за величиною і спрямовані у різні боки. Це створює специфічну ситуацію, в якій відсутні великі відносні швидкості зближення, але водночас зростає значення точності оцінки взаємного положення суден.

Основна увага вахтового помічника у таких умовах повинна бути зосереджена на підтриманні безпечних дистанцій з суднами, що рухаються в тому ж напрямку, а також на своєчасному виявленні цілей, які не вписуються у загальну структуру руху – суден, що перетинають курс, риболовних суден або окремих об'єктів із нестандартною поведінкою.

При русі в одному загальному напрямку найбільш інформативними є відносні вектори. Саме вони дозволяють швидко визначити характер взаємодії між суднами: чи відбувається обгін, чи, навпаки, власне судно наближається до цілі попереду. Судна, що обганяються, зазвичай викликають більшу занепокоєність, оскільки їх швидкість є меншою, і при відсутності корекції курсу або швидкості відстань між суднами буде зменшуватися.

Водночас судна, що обганяють, також потребують постійного контролю. Вони можуть обмежувати можливості маневрування, особливо у випадках, коли необхідно змінити курс або виконати інший маневр у межах смуги. Якщо таке судно починає надто зближуватися, доцільно, за можливості, незначно зменшити швидкість або виконати невелику зміну курсу в бік від нього. Навіть незначна зміна курсу призводить до зменшення складової власної швидкості у напрямку руху цілі, що дозволяє прискорити процес розходження.

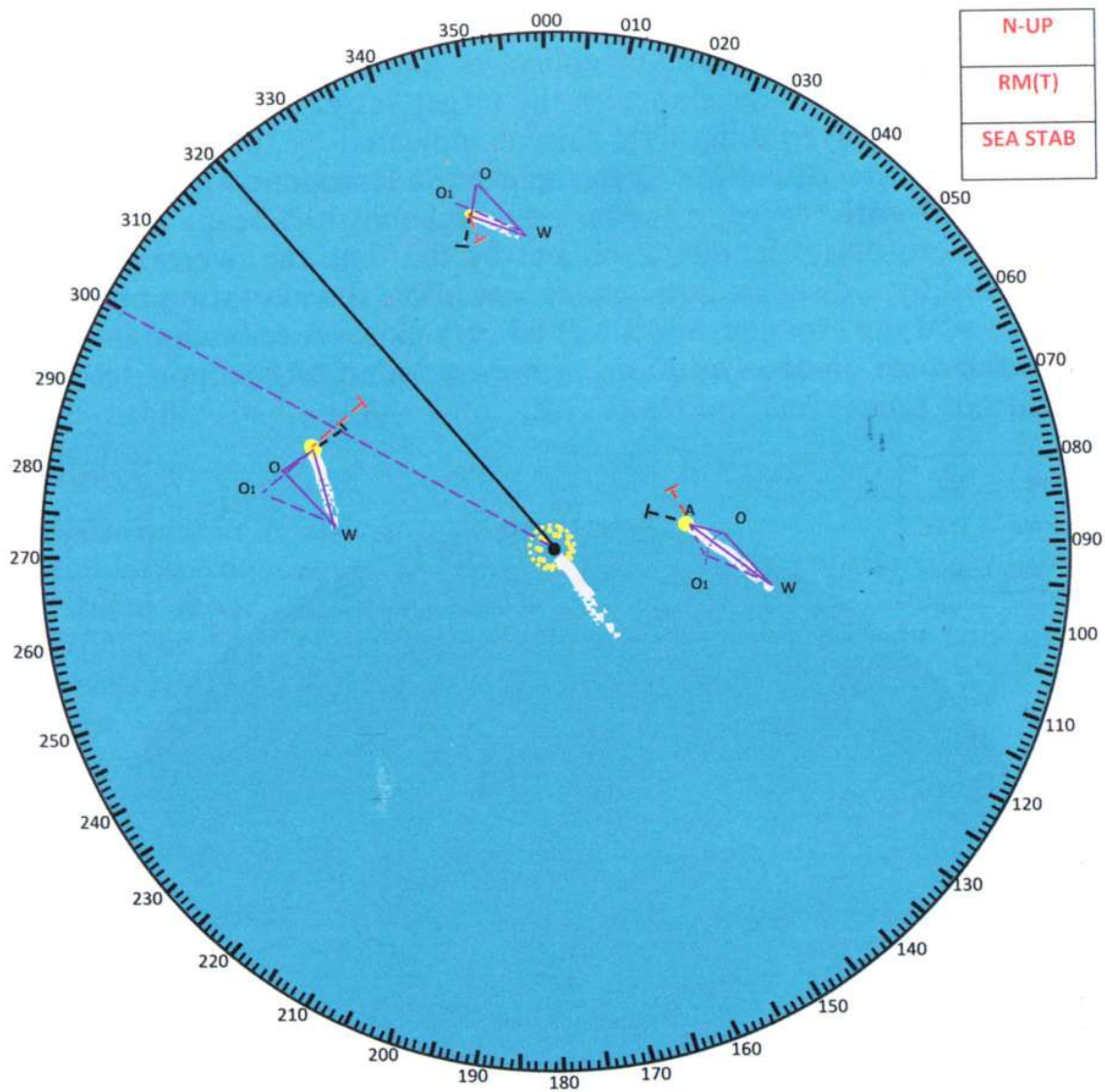


Рисунок 4.36 – Рух у смузі розподілу: ситуація обгону та вплив зміни курсу на відносні вектори

Подібні принципи застосовуються і у випадках, коли судну необхідно змінити своє положення у межах смуги, наприклад для подальшого виходу з неї під малим кутом. Такий маневр не повинен виконуватися в останній момент. Завчасна підготовка полягає у поступовому зміщенні до межі смуги з одночасним контролем за суднами, що можуть наблизитися з кормових курсових кутів. До моменту виконання основного маневру ситуація повинна бути максимально спрощеною.

Набагато складнішими є ситуації взаємодії з суднами, що перетинають курс у межах смуги. У цьому випадку можливості маневрування обмежуються не лише геометрією зближення, але й наявністю інших суден, що рухаються в тому ж напрямку. Особливу небезпеку становлять судна, що знаходяться на кормових курсових кутах, оскільки вони можуть швидко скорочувати дистанцію і обмежувати можливість виконання маневру.

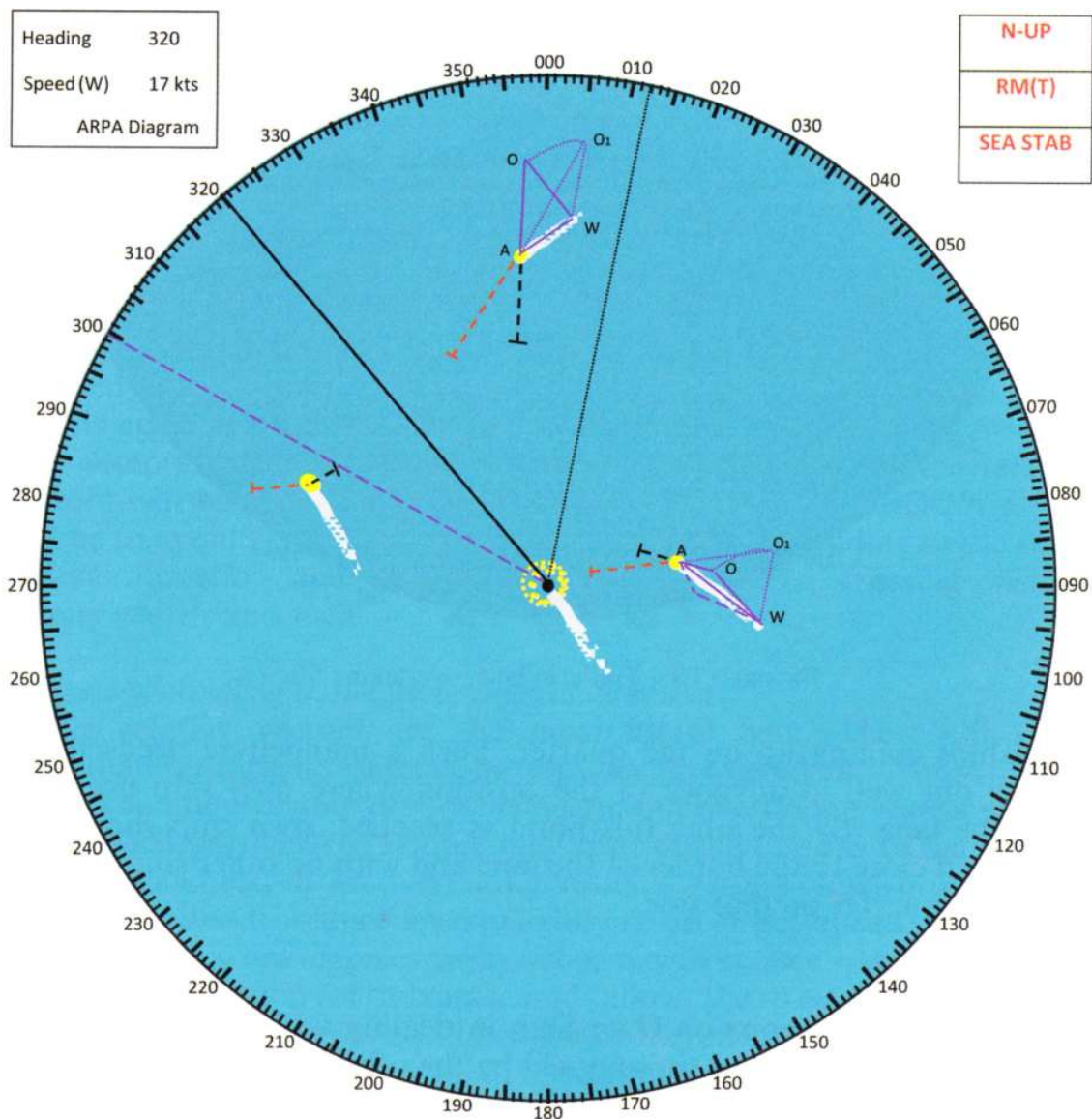


Рисунок 4.37 – Ситуація у смузі руху при перетині курсів і вплив маневру на інші цілі

У подібній ситуації навіть значна зміна курсу може виявитися неприйнятною, оскільки призводить до виникнення нової небезпеки відносно іншого судна. З іншого боку, відкладення маневру може призвести до надмірного зближення з судном, що перетинає курс. У таких умовах рішення повинно прийматися з урахуванням усіх факторів. Часто найбільш ефективним варіантом є зменшення швидкості, що дозволяє виграти час і створити простір для подальших дій без різких змін курсу. В окремих випадках можливим є також короткочасний маневр вліво з подальшим зайняттям положення позаду судна, що обганяє, після чого можна повернутися до початкового курсу.

Окрему категорію становлять поодинокі або так звані «аномальні» цілі, які рухаються у неправильному напрямку в межах смуги. Хоча такі випадки зустрічаються рідше завдяки контролю з боку служб управління рухом і використанню AIS, вони не можуть бути повністю виключені. Подібні ситуації потребують підвищеної уваги, оскільки дії такого судна можуть бути непередбачуваними.

Природним може бути бажання встановити зв'язок з таким судном або повідомити берегові служби. Однак першочерговим завданням залишається забезпечення безпечного розходження. До моменту, коли стане очевидним, що ситуація є контрольованою, додаткові дії можуть лише відволікати увагу і ускладнювати оцінку обстановки.

Аналогічно, будь-які інші судна, що знаходяться в смузі або наближаються до неї, повинні розглядатися не ізольовано, а як частина єдиної динамічної системи. Кожне судно може впливати на рішення іншого, і навіть незначні зміни курсу або швидкості можуть змінювати загальну картину.

У таких умовах особливо важливо уникати накопичення суден у безпосередній близькості. Це досягається завчасним маневруванням, вибором вигідної позиції у смузі та постійним контролем розвитку ситуації. Чим раніше судноводій починає діяти, тим простішою і безпечнішою стає обстановка.

У підсумку робота в схемах розподілу руху вимагає від судноводія не лише знання правил, але й здатності мислити на випередження. Саме прогнозування розвитку ситуації, а не реагування на вже сформовану небезпеку, визначає ефективність дій і рівень безпеки плавання.

4.4.3. Перетин смуги або смуг руху

Перетин смуги руху є однією з найбільш напружених навігаційних ситуацій, особливо для вахтових помічників з обмеженим досвідом. Складність таких умов зростає для суден із невеликою швидкістю, а в районах інтенсивного руху виконання маневру без радіолокаційного супроводження може бути вкрай складним.

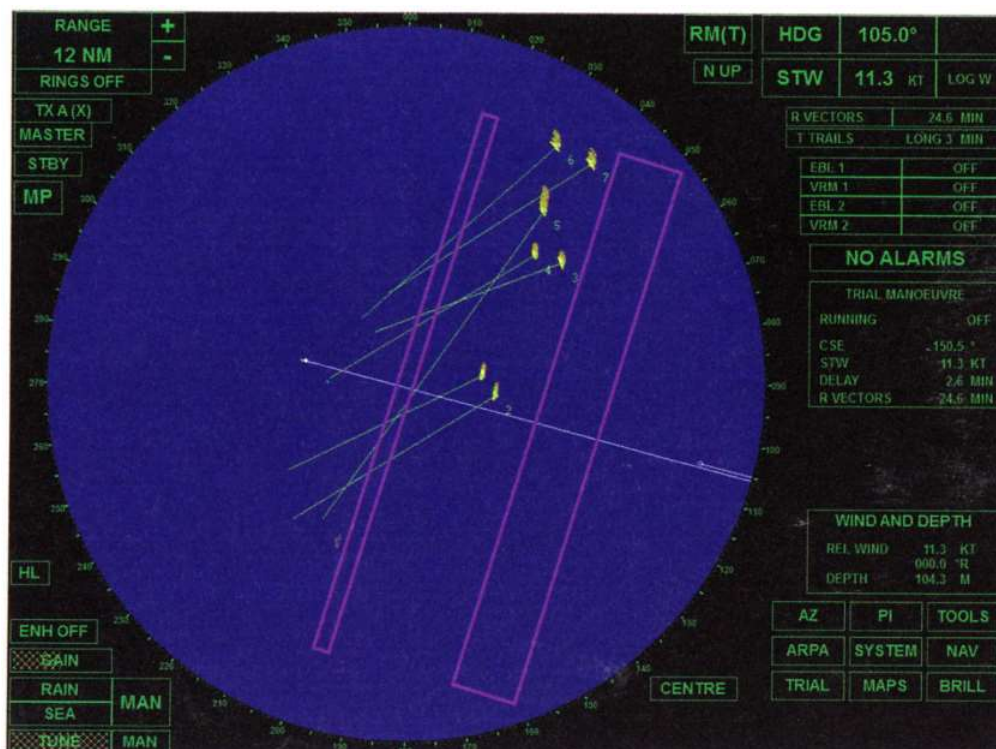


Рисунок 4.38 – Трафік з лівого борту при підході до смуги руху

У ситуації перетину смуги при трафіку з лівого борту передбачається, що такі судна є тими, що повинні поступатися дорогою. Проте на практиці це не гарантує своєчасних дій. Судноводій повинен виходити з припущення, що інше судно може не виконати своїх обов'язків, і бути готовим до самостійного маневру.

Ключове значення має ранній аналіз відносних векторів. Якщо дозволяє обстановка, доцільно ще до досягнення межі смуги сформувати курс перетину, що дозволяє оцінити взаємодію з усіма цілями.

Аналіз подовжених відносних векторів показує, що потенційне небезпечне зближення може виникнути з декількома цілями. Для оцінки ситуації застосовується пробний маневр.

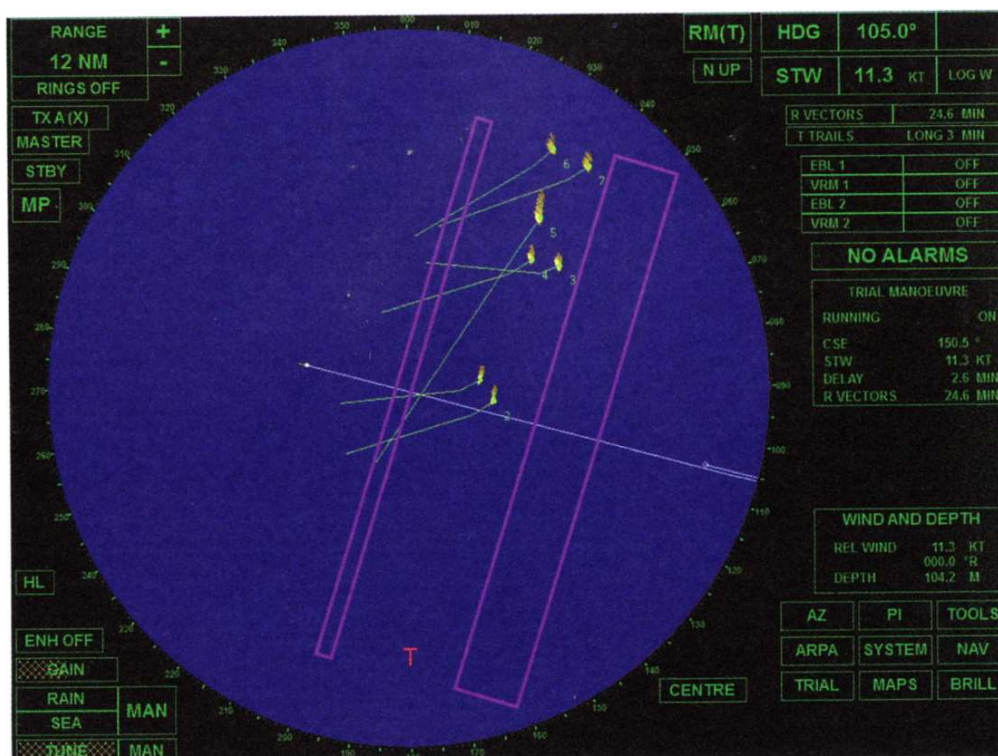


Рисунок 4.39 – Пробний маневр (trial manoeuvre)

Пробний маневр із зміною курсу вправо дозволяє усунути небезпеку щодо більшості цілей, однак створює нову взаємодію з іншою ціллю.

Після виконання маневру більшість цілей проходять безпечно, проте одна з них формує зближення на малих дистанціях. У цьому випадку приймається рішення пройти попереду цієї цілі з подальшим поверненням на початковий курс.

Подальший аналіз показує, що для безпечного повернення на початковий курс необхідно витримати певний час, протягом якого збільшується СРА. При цьому ситуація може наблизитися до небезпечного зближення, що потребує особливо уважного контролю.

У хорошій видимості в окремих випадках доцільно зберігати курс і швидкість, покладаючись на дії іншого судна. В умовах обмеженої видимості, навпаки, повернення на початковий курс може бути відкладене, оскільки зміна курсу вліво для цілі попереду траверзу є небажаною.

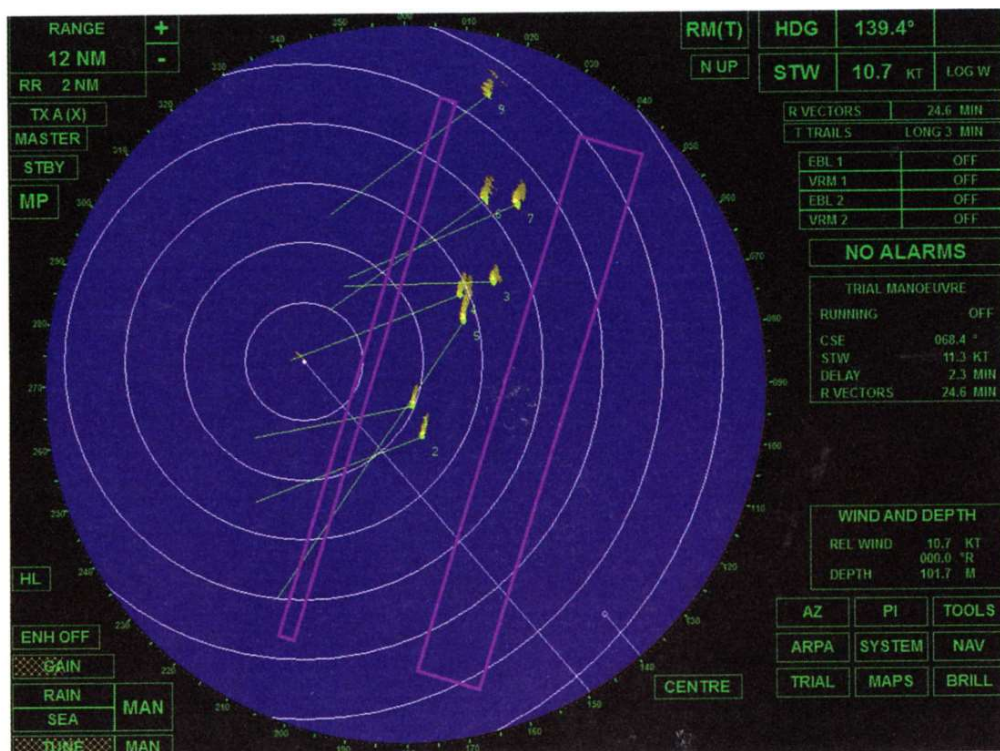


Рисунок 4.40 – Ситуація після зміни курсу



Рисунок 4.41 – Пробний маневр для повернення на початковий курс

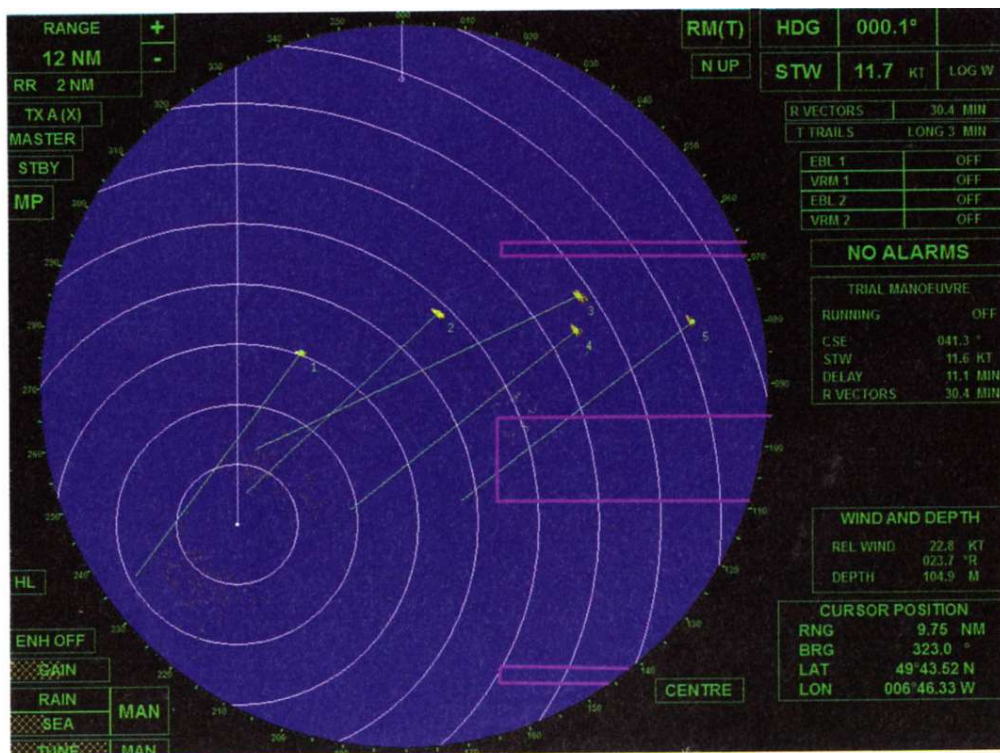


Рисунок 4.42 – Трафік з правого борту при підході до смуги руху

Таким чином, навіть правильно обраний маневр не є завершенням процесу – ситуація потребує безперервного контролю.

Інший характер має перетин смуги при трафіку з правого борту.

Аналіз показує, що одна з цілей є критичною щодо можливого зближення. Виникає необхідність виконати маневр для збільшення CPA.

Пробний маневр демонструє, що збільшення дистанції розходження з однією ціллю супроводжується її зменшенням для іншої.

Затримка маневру погіршує ситуацію, зменшуючи доступний час для прийняття рішення.

Зменшення кута повороту також не дає універсального рішення, оскільки впливає на всю систему взаємодій між суднами.

У підсумку рішення полягає у компромісному маневрі: виконується зміна курсу вправо з подальшим поверненням на початковий курс після проходження найбільш небезпечної цілі. При цьому можливе тимчасове проходження попереду іншого судна.

Характерною особливістю таких ситуацій є те, що судно може певний час рухатися курсом, який відхиляється від напрямку потоку або навіть є протилежним йому. Це є допустимим, якщо такий маневр забезпечує загальну безпеку.

У підсумку перетин смуги руху не має універсального алгоритму. Кожна ситуація є унікальною і потребує аналізу всієї системи руху, а не окремих пар суден. Вирішальне значення мають ранній початок маневру, використання радіолокаційної інформації, оцінка наслідків дій і готовність коригувати рішення у процесі розвитку обстановки.

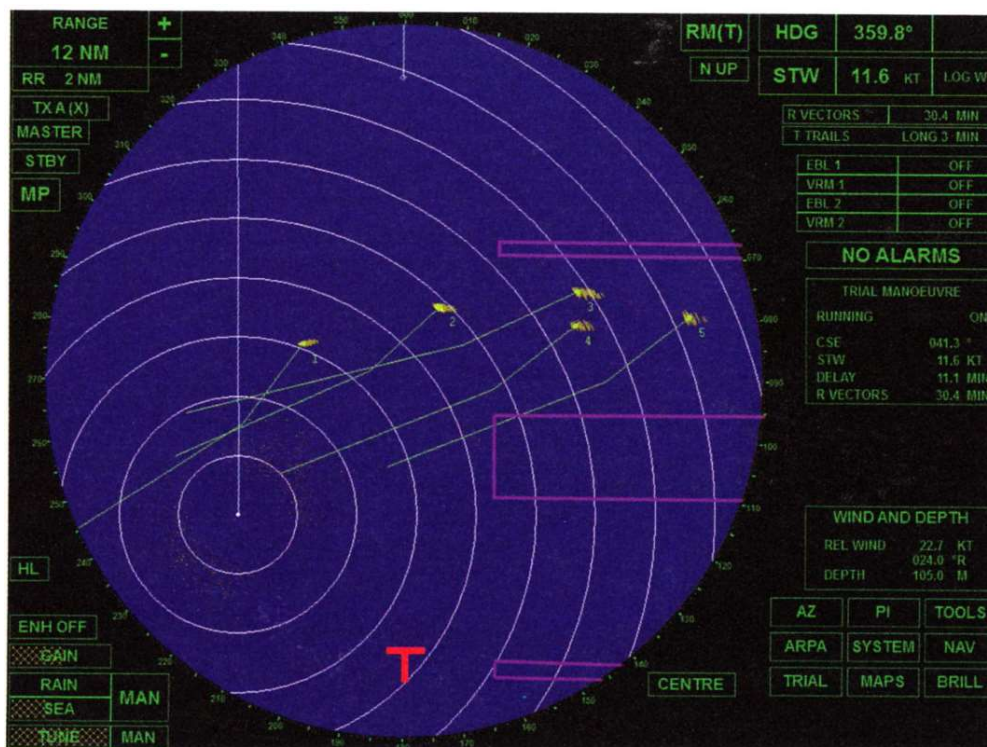


Рисунок 4.43 – Пробний маневр для оцінки зміни курсу

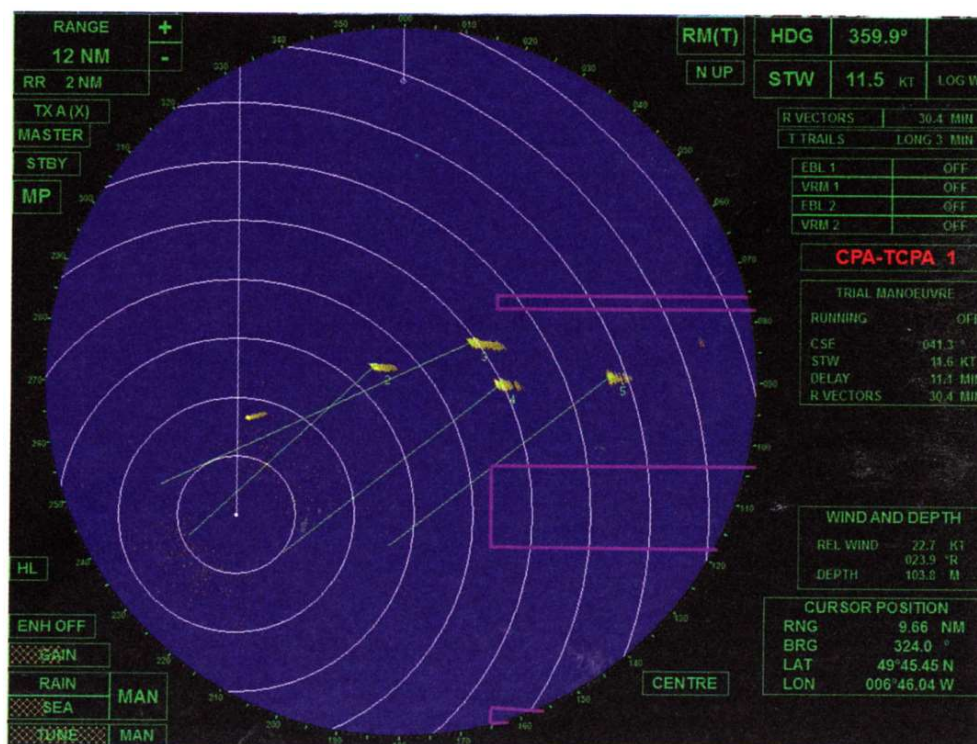


Рисунок 4.44 – Затримка виконання маневру

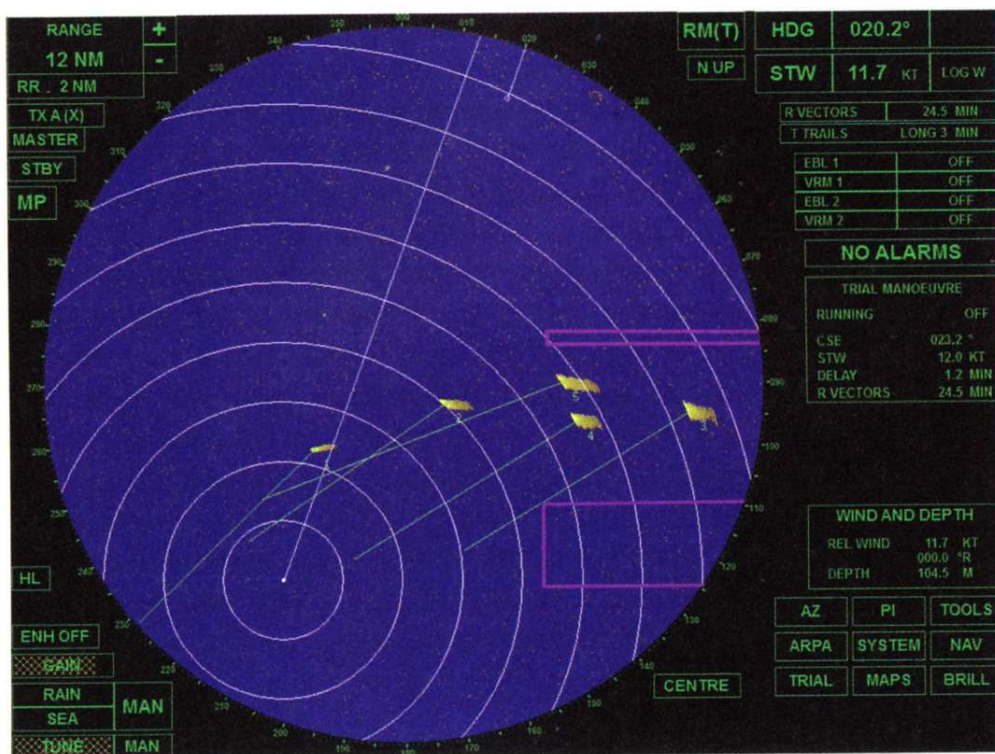


Рисунок 4.45 – Зміна курсу на 20° вправо

4.4.4. Зони попереджувального маневрування

Незважаючи на впорядкованість руху в межах смуг, існують райони, де ця структура порушується. До таких належать ділянки, де сходяться або розходяться кілька потоків руху, зокрема підходи до великих портів, райони поблизу лоцманських станцій, місця перетину або злиття смуг. У цих умовах характер руху суттєво змінюється: замість відносно прогнозованого потоку формується складна і динамічна обстановка, в якій судна можуть виконувати маневри з різних причин і в різних напрямках.

Іноді організація руху у вигляді кругового руху дозволяє частково впорядкувати ситуацію, однак це можливо не завжди. Обмеження акваторії, глибини, конфігурація фарватерів або характер руху можуть не дозволяти застосувати подібні рішення. У таких умовах вахтовий помічник повинен переходити від роботи у відносно стабільній системі до управління ситуацією з високим рівнем невизначеності.

Як і у смугах руху, аналіз відносних векторів залишається основним інструментом оцінки обстановки. Проте в зонах попереджувального маневрування він має свої особливості. Вектори можуть швидко змінюватися внаслідок маневрів інших суден, які виконуються не лише з метою уникнення зближення, але й з навігаційних причин. Судно може змінювати курс або швидкість у зв'язку з підходом до порту, необхідністю зайняти позицію для прийому лоцмана, підготовкою до швартування або виходу з каналу.

Саме тому у таких районах особливого значення набуває прогнозування дій інших суден. Вахтовий помічник повинен не лише оцінювати поточні параметри руху, але й намагатися передбачити, які маневри можуть бути виконані

найближчим часом. Наприклад, якщо судно наближається до лоцманської станції, існує висока ймовірність зменшення швидкості та подальшого маневрування. Ігнорування таких факторів може призвести до помилкової оцінки ситуації навіть за наявності точної радіолокаційної інформації.

У цьому контексті значно зростає роль інтегрованого використання навігаційних засобів. Відображення радіолокаційних цілей на електронній навігаційній карті або на попередньо підготовлених радіолокаційних картах дозволяє швидко оцінити положення суден відносно фарватерів, смуг руху та інших навігаційних орієнтирів. Це істотно полегшує розуміння ситуації, особливо у складних районах, де просторове уявлення має вирішальне значення.

Поєднання радіолокаційної інформації з даними AIS ще більше розширює можливості аналізу. Інформація про пункт призначення судна дозволяє прогнозувати його ймовірний маршрут, особливо у випадках, коли існує кілька можливих варіантів руху. Наприклад, якщо відомо, що судно є глибоко завантаженим танкером великої водотоннажності, можна з великою ймовірністю припустити, що воно обере глибоководний шлях, навіть якщо інші варіанти також доступні.

Водночас використання AIS та радіозв'язку УКХ повинно здійснюватися з обережністю. Можливість ідентифікувати судно за допомогою AIS і встановити з ним зв'язок створює додаткові інструменти для оцінки ситуації, однак їх неправильне використання може призвести до серйозних помилок.

Радіозв'язок може бути корисним для уточнення загальних намірів іншого судна. Зокрема, він дозволяє з'ясувати, чи виконує судно операції, пов'язані з прийомом або висадкою лоцмана, або попередити про власні дії, які можуть бути неочікуваними для інших учасників руху, наприклад про зменшення швидкості або зміну курсу з навігаційних причин.

Разом з тим, використання УКХ для узгодження маневрів розходження не рекомендується і повинно розглядатися як виняток. У ситуаціях, що швидко розвиваються, такі дії можуть відволікати увагу, створювати хибне відчуття узгодженості і призводити до неправильного розуміння намірів іншого судна. У ряді випадків це ставало причиною аварій.

Аналогічні застереження стосуються використання повідомлень безпеки AIS для координації маневрів. Подібна практика вже призводила до так званих «AIS-асистованих зіткнень», коли судна покладалися на обмін повідомленнями замість дотримання правил і аналізу радіолокаційної інформації.

У підсумку зони попереджувального маневрування вимагають від судноводія особливого рівня уваги і професійного мислення. У таких умовах недостатньо лише правильно інтерпретувати поточну ситуацію – необхідно передбачати її розвиток, враховувати наміри інших суден і діяти на випередження. Саме це дозволяє уникати складних і потенційно небезпечних взаємодій у найбільш напружених районах судноплавства.

4.5. Вплив людського елемента на використання радіолокації

У попередніх підрозділах радіолокація розглядалася як технічний засіб отримання, обробки та відображення навігаційної інформації. Водночас ефективність її застосування визначається не стільки характеристиками апаратури або алгоритмами обробки сигналів, скільки тим, як ця інформація сприймається, інтерпретується і використовується судноводієм. Саме на цьому рівні вирішального значення набуває людський елемент.

Радіолокаційна інформація за своєю природою є опосередкованою. Судноводій працює не з реальною обстановкою, а з її відображенням – системою умовних позначень, відміток, векторів і числових параметрів. Це потребує постійного переходу від «зображення» до «ситуації», тобто інтерпретації. Помилки на цьому етапі можуть виникати навіть за повністю справної роботи обладнання.

Однією з типових проблем є неправильна інтерпретація відміток. Хибна ціль може бути прийнята за реальну, або, навпаки, слабка чи нестійка відмітка – недооцінена. У складних гідрометеорологічних умовах, за наявності завад або інтенсивного руху, ця проблема посилюється. Особливу небезпеку становлять ситуації, коли формується впевненість у правильності оцінки без достатніх підстав.

Не менш важливим є правильне розуміння векторної інформації. Відображення відносних і істинних векторів формує різні картини руху, і неправильний вибір режиму або нерозуміння його особливостей може призвести до хибних висновків щодо розвитку ситуації. Наприклад, незмінний відносний пеленг може бути не помічений або неправильно оцінений, що прямо суперечить вимогам Правила 7 МПЗЗС щодо визначення ризику зіткнення.

Суттєвий вплив має і явище когнітивного спрощення. У реальних умовах судноводій змушений зменшувати складність ситуації, концентруючись лише на частині інформації. Це природна реакція на обмеженість уваги, однак вона може призводити до втрати цілісного уявлення про обстановку. У результаті потенційно небезпечні цілі залишаються поза увагою або недооцінюються.

З іншого боку, сучасні радіолокаційні та інтегровані системи створюють ризик перевантаження інформацією. Відображення великої кількості цілей ARPA, даних AIS, векторів, зон безпеки, попереджень і картографічної інформації не завжди підвищує ефективність сприйняття. За відсутності чіткої організації відображення надлишок інформації ускладнює виділення ключових елементів і може затримувати прийняття рішення.

У цьому контексті особливого значення набуває правильне налаштування радіолокаційної станції. Вибір масштабу, рівня фільтрації завад, режиму стабілізації, параметрів відображення векторів повинен відповідати конкретній навігаційній ситуації. Невідповідність налаштувань умовам плавання створює додаткове когнітивне навантаження і підвищує ймовірність помилки.

Людський елемент проявляється також у часовому аспекті прийняття рішень. Як показано раніше, своєчасність дій є критичною умовою безпечного розходження. Проте на практиці часто спостерігається затримка, зумовлена

невпевненістю, прагненням уточнити інформацію або очікуванням дій іншого судна. Це призводить до переходу від ранніх дій до пізніх, а інколи – до ситуацій небезпечного зближення.

Водночас надмірна впевненість також становить небезпеку. Автоматизовані системи супроводження цілей можуть створювати ілюзію повної визначеності, тоді як параметри СРА і ТСРА мають прогностичний характер і залежать від стабільності руху цілей. Ігнорування цього факту може призводити до недооцінки ризику.

Важливу роль відіграє взаємодія членів вахтової команди. Обговорення ситуації, взаємна перевірка оцінок і розподіл уваги між різними засобами спостереження дозволяють суттєво зменшити вплив індивідуальних помилок. Навіть короткий обмін думками може виявити неточності в інтерпретації або підказати альтернативні варіанти дій.

Окремо слід враховувати вплив втоми, стресу та умов несення вахти. Тривала робота в умовах монотонності або, навпаки, підвищеного навантаження знижує здатність до концентрації та аналітичного мислення. У таких умовах зростає ймовірність як пропуску важливої інформації, так і прийняття поспішних або неузгоджених рішень.

У підсумку радіолокація як технічний засіб забезпечує лише потенційну можливість безпечної навігації. Реалізація цієї можливості залежить від якості сприйняття, інтерпретації та прийняття рішень судноводієм. Саме тому підготовка повинна бути спрямована не лише на вивчення технічних характеристик обладнання, але й на розвиток аналітичного мислення, здатності оцінювати обстановку та діяти в умовах інформаційного навантаження.

Такий підхід забезпечує відповідність дій судноводія вимогам МПЗЗС, насамперед Правил 7 і 8, які підкреслюють необхідність своєчасного виявлення ризику та виконання рішучих і зрозумілих дій для уникнення зіткнення.

4.6. Практика налаштування та використання радіолокаційної станції в реальних умовах

Розгляд технічних аспектів налаштування радіолокаційної станції дає уявлення про можливості обладнання, однак у реальній навігаційній практиці вирішальне значення має не перелік параметрів, а здатність судноводія адаптувати їх до конкретної обстановки. Радіолокація не є статичним інструментом – її ефективність визначається гнучкістю застосування в процесі спостереження.

У реальних умовах навігаційна обстановка безперервно змінюється: змінюється інтенсивність руху, дальність виявлення, гідрометеорологічні умови, характер берегової лінії та наявні обмеження. Це означає, що налаштування радіолокаційної станції не можуть залишатися сталими навіть протягом однієї вахти. Вахтовий помічник повинен постійно коригувати параметри відображення, підтримуючи баланс між повнотою інформації та її наочністю.

Одним із ключових елементів є вибір масштабу. Надмірно великий масштаб обмежує сприйняття загальної картини і може призводити до втрати віддалених,

але важливих цілей. Занадто малий, навпаки, перевантажує індикатор деталями і ускладнює аналіз взаємного положення суден. Практика полягає у постійному переході між масштабами: від оглядового – для оцінки обстановки в цілому, до детального – для аналізу конкретних цілей і прогнозування їх руху.

Не менш важливим є управління завадами. У реальних умовах морська хвиля, опади та паразитні відбиття суттєво впливають на якість зображення. Надмірне пригнічення завад призводить до втрати слабких цілей, тоді як недостатнє – до захаращення індикатора. Практичний підхід полягає у досягненні такого рівня фільтрації, при якому зберігається максимум корисної інформації без втрати чіткості сприйняття.

Особливого значення набуває робота з векторною інформацією. Судноводій повинен не лише обирати режим відображення (відносні або істинні вектори), але й свідомо використовувати його залежно від ситуації. У щільному трафіку відносні вектори дозволяють швидко виявляти потенційні зближення, тоді як істинні забезпечують розуміння загальної структури руху. Перехід між цими режимами є частиною процесу оцінки обстановки, а не просто технічною операцією.

Практичне використання радіолокації передбачає також активне застосування функцій супроводження цілей і пробних маневрів. Водночас ці інструменти повинні розглядатися як допоміжні. Вони не замінюють аналітичного мислення, а лише підтримують його. У реальних умовах судноводій постійно співставляє результати автоматичних розрахунків із візуальними спостереженнями та загальною логікою розвитку ситуації.

Важливою складовою є інтеграція радіолокаційної інформації з іншими джерелами. Дані AIS, електронні навігаційні карти та візуальні спостереження повинні використовуватися у взаємозв'язку. Жодне джерело не є абсолютно надійним, і лише їх поєднання дозволяє сформувати цілісне та достовірне уявлення про обстановку.

У реальній навігації критичним є своєчасний перехід від спостереження до дії. Налаштування радіолокаційної станції має бути підпорядковане цьому завданню. Якщо параметри відображення ускладнюють або сповільнюють оцінку ситуації, вони фактично знижують рівень безпеки, навіть якщо формально відповідають рекомендаціям.

Практика показує, що ефективне використання радіолокації формується не через запам'ятовування окремих налаштувань, а через вироблення стійких навичок роботи в різних умовах. Саме тому тренажерна підготовка і реальний досвід плавання мають вирішальне значення. Судноводій повинен навчитися «бачити» за радіолокаційним зображенням реальну обстановку і швидко адаптувати налаштування відповідно до її змін.

У підсумку практика використання радіолокаційної станції є динамічним процесом, у якому технічні можливості обладнання поєднуються з досвідом, увагою та аналітичним мисленням судноводія. Саме ця взаємодія визначає ефективність застосування радіолокації та її здатність забезпечувати безпечне судноводіння в умовах реальної експлуатації.

4.7. Тренажерна підготовка та відпрацювання сценаріїв розходження

Тренажерна підготовка є невід’ємною складовою формування сучасного судноводія. Проте її цінність визначається не самим фактом проходження навчання, а тим, наскільки ефективно вона використовується для розвитку практичних навичок. Тренажер не є просто засобом перевірки знань – це середовище, у якому формується здатність оцінювати ситуацію, приймати рішення і діяти в умовах обмеженого часу.

У процесі підготовки радіолокація повинна розглядатися не як окремий інструмент, а як частина єдиної системи спостереження. Дані радара, AIS, електронної карти та візуальних спостережень повинні сприйматися у взаємозв’язку. Саме так формується навичка створення цілісної картини навігаційної обстановки – тієї, з якою судноводій працює в реальних умовах.

Практика показує, що ефективність тренажерних занять значною мірою залежить від підходу самого слухача. Перед початком вправи важливо чітко усвідомити її мету: чи йдеться про відпрацювання прокладки, оцінку параметрів зближення або прийняття рішень у складній ситуації. Без такого розуміння виконання вправи перетворюється на формальність і не дає очікуваного результату.

Під час виконання вправи ключове значення має правильна організація спостереження. Судноводій повинен не просто реагувати на зміну обстановки, а активно її аналізувати: виділяти потенційно небезпечні цілі, оцінювати їх рух, співставляти радіолокаційні дані з іншими джерелами інформації. Особливо важливо не обмежуватися лише автоматичними параметрами, такими як CPA і TCRA, а намагатися розуміти геометрію розвитку ситуації.

Однією з найпоширеніших помилок є прагнення використовувати всі доступні засоби одночасно. У реальних умовах це призводить до перевантаження інформацією і втрати контролю над ситуацією. Тренажерна підготовка повинна навчити іншому підходу – свідомому вибору інструментів залежно від задачі. У ряді випадків обмеження засобів, наприклад відмова від AIS або автоматичних функцій, дозволяє краще зрозуміти основи оцінки обстановки.

Не менш важливим є вміння працювати з помилками. Тренажер створює унікальні умови, в яких помилка не має реальних наслідків, але може бути детально проаналізована. Саме цей аналіз є ключовим елементом навчання. Судноводій повинен не лише фіксувати факт помилки, а й розуміти причини її виникнення: неправильну інтерпретацію даних, запізнілу реакцію, переоцінку автоматичних систем або втрату загальної картини обстановки.

Особливу увагу слід приділяти часовому фактору. Більшість помилок у задачах розходження пов’язана не з неправильним рішенням як таким, а з моментом його прийняття. Тренажер дозволяє багаторазово відпрацьовувати ситуації, формуючи відчуття часу, необхідного для переходу від спостереження до дії. Це є одним із найважливіших компонентів професійної підготовки.

Значну роль відіграє і взаємодія в межах вахтової команди. Навіть у тренажерних умовах доцільно відпрацьовувати розподіл уваги, обмін інформацією і узгодження рішень. Це дозволяє сформувати навички, які

безпосередньо впливають на безпеку судноплавства і пов'язані з людським елементом.

У підсумку тренажерна підготовка повинна розглядатися не як окремий етап навчання, а як інструмент формування професійного мислення. Її ефективність визначається здатністю судноводія переносити отримані навички в реальні умови, адаптуватися до змін обстановки і приймати своєчасні, обґрунтовані рішення.

4.8. Комплексне застосування радіолокації та МПЗЗС

У попередніх підрозділах радіолокація розглядалася як технічний засіб отримання та обробки навігаційної інформації, а МПЗЗС – як нормативна основа прийняття рішень щодо розходження суден. У реальній практиці ці елементи не існують окремо. Ефективне управління судном можливе лише за умови їх інтегрованого застосування, коли радіолокаційні дані не просто спостерігаються, а безпосередньо інтерпретуються через вимоги Правил.

Радіолокаційна інформація формує у судноводія уявлення про навігаційну обстановку: положення цілей, їх курси і швидкості, характер руху та прогноз розвитку ситуації. Водночас сама по собі ця інформація не визначає дії. Вона лише створює основу для оцінювання ризику зіткнення, яке здійснюється відповідно до МПЗЗС, передусім Правил 7, 8 та 19.

Ключовим є не окреме володіння технікою радіолокаційного спостереження чи знання тексту Правил, а здатність поєднувати ці елементи в єдиний процес. Виявлення цілі за допомогою радару повинно одразу супроводжуватися її оцінкою з позиції Правил: визначенням типу ситуації – зустрічної, перехресної або обгону, аналізом відносного положення і характеру руху, а також встановленням наявності ризику зіткнення.

Особливого значення набуває інтерпретація відносного руху. Радіолокаційна прокладка, незалежно від способу її виконання, дозволяє отримати параметри СРА і ТСРА. Однак їх використання має сенс лише тоді, коли вони співвіднесені з реальними умовами плавання. Сам факт наявності СРА не є достатнім – необхідно оцінити, чи є ця відстань безпечною з урахуванням щільності руху, маневрених характеристик судна, обмежень акваторії та загальної навігаційної обстановки.

У складних ситуаціях, зокрема при інтенсивному русі або в схемах розподілу руху, процес прийняття рішення стає багатофакторним. Радіолокація дозволяє одночасно супроводжувати кілька цілей, однак МПЗЗС не пропонують прямого алгоритму дій для таких умов. У цих випадках вирішальним стає професійне мислення судноводія, яке передбачає раннє виявлення потенційно небезпечних ситуацій і їх попередження ще до переходу в критичну фазу.

Звідси випливає принципове положення: радіолокація повинна використовуватися не лише для реагування, але й для прогнозування. Завчасна оцінка розвитку ситуації дозволяє виконувати невеликі, але своєчасні зміни курсу або швидкості, забезпечуючи безпечне розходження без створення напружених

умов для інших суден. Такий підхід відповідає суті МПЗЗС, де підкреслюється необхідність ранніх і рішучих дій.

В умовах обмеженої видимості значення радіолокації різко зростає, оскільки вона стає основним джерелом інформації. Саме радіолокаційні спостереження дозволяють реалізувати вимоги Правила 19 на практиці. Водночас зростає і ризик помилок інтерпретації, що підкреслює необхідність системного підходу до аналізу даних.

Важливу роль у цьому процесі відіграють інтегровані навігаційні системи, зокрема поєднання радіолокації з ECDIS та AIS. Таке поєднання дозволяє отримати більш повну картину обстановки і зіставляти різні джерела інформації, виявляючи можливі невідповідності. Проте ці засоби повинні розглядатися як допоміжні. Надмірна довіра до автоматизованих систем може призводити до втрати критичного мислення і, як наслідок, до помилкових рішень.

У цьому контексті вирішальне значення має людський елемент. Саме він забезпечує інтеграцію технічної інформації та нормативних вимог у єдиний процес прийняття рішення. Жодна система не здатна повністю замінити судноводія, оскільки остаточне рішення завжди приймається з урахуванням конкретної ситуації.

Тренажерна підготовка є ефективним засобом формування цієї інтегрованої компетентності. У змодельованих умовах відпрацьовується здатність одночасно сприймати інформацію, інтерпретувати її відповідно до Правил і приймати обґрунтовані рішення в обмежений час.

У підсумку комплексне застосування радіолокації та МПЗЗС слід розглядати як єдину систему, що включає отримання інформації, її аналіз, оцінку ризику та реалізацію маневру. порушення будь-якого з цих етапів знижує рівень безпеки. Саме тому підготовка судноводія повинна бути спрямована не на ізольоване засвоєння технічних або нормативних аспектів, а на формування цілісного мислення, здатного забезпечити безпечне управління судном у будь-яких умовах плавання.

РОЗДІЛ 5. ІНТЕГРАЦІЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ВИМОГ МПЗЗС-72 У ПРОЦЕСІ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

У попередніх розділах радіолокаційна інформація розглядалася як засіб формування уявлення про навігаційну обстановку, її структуру та динаміку. Паралельно з цим у першій частині посібника було розкрито нормативну основу дій судноводія – систему вимог МПЗЗС-72, що визначає порядок оцінювання ситуації та вибору маневру.

Невідповідність між радіолокаційною картиною і її інтерпретацією є однією з основних причин помилок у процесі розходження суден. На практиці ці дві площини не співіснують як послідовні етапи. Судноводій не переходить від спостереження до правил і лише потім до дії. У реальних умовах сприйняття навігаційної обстановки одразу формується як інтерпретований образ, у якому геометрія руху, можливий розвиток ситуації та вимоги правил зливаються в єдину основу для прийняття рішення.

Саме в цьому полягає ключова складність професійної діяльності: радіолокаційне зображення не є «нейтральною картиною», яку потрібно лише правильно прочитати. Воно завжди розглядається крізь очікування дій інших суден, оцінку їх поведінки та необхідність власного маневру. Таким чином, технічна інформація і нормативні вимоги фактично взаємно формують одна одну в процесі сприйняття.

У зв'язку з цим окремий розгляд радіолокації або правил, навіть за умови їх повного засвоєння, не забезпечує готовності до практичного управління судном. Вирішальним є здатність поєднати ці елементи в єдину систему мислення, у межах якої кожна радіолокаційна ознака одразу отримує нормативну інтерпретацію, а кожна вимога правил – конкретне відображення у параметрах руху цілей.

Подальший виклад спрямований саме на розкриття цього взаємозв'язку. Основна увага буде зосереджена не на повторенні положень правил, а на тому, як вони реалізуються через аналіз радіолокаційної інформації у типових і ускладнених навігаційних ситуаціях. Це дозволяє перейти від формального знання до практичного застосування, коли рішення приймається не за шаблоном, а на основі цілісного розуміння обстановки.

5.1. Оцінювання ризику зіткнення у радіолокаційному спостереженні

У процесі радіолокаційного спостереження судноводій сприймає навігаційну обстановку не як сукупність окремих цілей, а як цілісну картину руху, що безперервно змінюється у часі. У нормальних умовах ця картина має впорядкований характер: цілі рухаються відносно судна за передбачуваними траєкторіями, зміна пеленгів і дистанцій узгоджується між собою, а загальна ситуація не викликає сумнівів щодо її безпечності.

Саме така «впорядкована картина» у практиці судноводіння сприймається як відсутність ризику, хоча формально це ще не є результатом аналізу, а лише початковим станом спостереження.

Однак навіть незначні відхилення від цієї впорядкованості змінюють характер сприйняття. Ситуація починає оцінюватися інакше не в момент появи конкретного числового параметра, а тоді, коли радіолокаційна картина втрачає однозначність. Однією з найбільш характерних ознак такого переходу є стабілізація пеленга на ціль за одночасного зменшення дистанції. На індикаторі це проявляється як «утримання напрямку» на ціль при її поступовому наближенні, що сприймається не як окрема ознака, а як зміна всієї логіки руху.

У цей момент радіолокаційне зображення перестає бути нейтральним відображенням обстановки і починає вимагати інтерпретації. Судноводій вже не просто спостерігає, а співвідносить побачене з можливими сценаріями розвитку ситуації. При цьому важливу роль відіграє не тільки геометрія взаємного розташування суден, але й її стійкість у часі. Якщо картина залишається стабільною, вона допускає прогнозування. Якщо ж параметри руху змінюються нерівномірно або суперечливо, виникає стан невизначеності, який сам по собі розглядається як фактор небезпеки.

Саме цей перехід – від спостереження до інтерпретації – і становить сутність оцінювання ризику зіткнення у практичному сенсі. У нормативній формі він закріплений у вимогах Правила 7 МПЗЗС-72, однак у радіолокаційному спостереженні проявляється як зміна характеру сприйняття ситуації.

Застосування автоматизованих засобів супроводження цілей дозволяє представити цю ситуацію у вигляді розрахункових параметрів зближення. Проте ці значення не замінюють процесу спостереження, а лише доповнюють його. Вони відображають модель руху, побудовану на основі попередніх вимірювань, і тому є чутливими до їх точності та стабільності. У разі, коли значення параметрів змінюються або не відповідають візуально спостережуваній картині, пріоритет залишається за безпосереднім аналізом радіолокаційного зображення.

Особливої уваги потребують ситуації, у яких формально сприятливі параметри зближення поєднуються з нестійкою поведінкою цілі. Наприклад, при достатньому розрахунковому значенні мінімальної дистанції зближення зміна курсу іншого судна або похибки супроводження можуть призвести до швидкого погіршення ситуації. У таких випадках небезпека визначається не стільки поточними значеннями, скільки тенденцією їх зміни та передбачуваністю подальшого руху.

Не менш важливим є розуміння відмінності між відносним і істинним рухом. Радіолокаційне зображення, орієнтоване відносно власного судна, формує специфічне уявлення про ситуацію, у якому взаємне положення і траєкторії цілей сприймаються через призму власного руху. Перехід до оцінювання реальної геометрії розходження потребує додаткової інтерпретації, і помилки на цьому етапі можуть призводити до неправильного сприйняття ступеня небезпеки.

Фактор часу також відіграє визначальну роль. Навіть за наявності достатньої дистанції до зближення розвиток ситуації може вимагати завчасної реакції з урахуванням інерційних характеристик судна, умов плавання та можливих дій інших учасників руху. Затримка у прийнятті рішення в умовах радіолокаційного спостереження часто пов'язана не з відсутністю інформації, а з її надмірною інтерпретаційною складністю.

У цьому контексті оцінювання ризику зіткнення не є окремою дією або етапом, який передувє маневруванню. Воно здійснюється безперервно, супроводжуючи весь процес спостереження і прийняття рішень. Радіолокаційна інформація постійно співвідноситься з очікуваним розвитком ситуації, уточнюється і переоцінюється, формуючи динамічну основу для подальших дій судноводія.

Саме така безперервна оцінка обстановки і відповідає тій логіці, яка у нормативному вигляді сформульована як оцінювання ризику зіткнення. У радіолокаційній практиці вона проявляється не як застосування окремого правила, а як постійний процес розпізнавання небезпечних змін у структурі руху.

5.2. Виконання маневру як переформування радіолокаційної картини руху

Якщо на етапі спостереження і інтерпретації радіолокаційна картина дозволяє виявити потенційну небезпеку, то наступним кроком стає активний вплив на розвиток ситуації. У цей момент судноводій переходить від аналізу до дії, і радіолокаційне зображення перестає бути лише джерелом інформації – воно стає інструментом перевірки та оцінювання власних рішень.

Початкова небезпечна ситуація, як правило, характеризується певною стабільністю відносного руху: пеленг на ціль змінюється незначно або залишається сталим, дистанція скорочується, а прогнозовані параметри зближення вказують на можливе небезпечне наближення. У такій конфігурації картина виглядає «замкненою» – її розвиток уже визначений і не веде до безпечного розходження.

Маневр у цьому контексті не є ізольованою дією, а виступає як спосіб «розімкнути» цю картину. Його мета полягає не просто у зміні курсу або швидкості, а у створенні нової геометрії руху, яка буде однозначно спрямована на збільшення дистанції розходження.

На радіолокаційному індикаторі це має проявлятися як чітка зміна характеру відносного руху. Якщо до маневру пеленг на ціль залишався стабільним, то після нього повинна з'явитися виражена тенденція до його зміни. Якщо вектор відносного руху був спрямований у бік небезпечного зближення, то він має змінити напрямок таким чином, щоб забезпечити очевидне і стійке розходження.

Саме ця зміна повинна бути не лише наявною, але й достатньо виразною. Слабкі або поступові зміни, які не призводять до якісного переформування картини, не забезпечують впевненості у безпечному результаті. У таких випадках радіолокаційне зображення зберігає елементи невизначеності, і ситуація фактично залишається потенційно небезпечною, незважаючи на виконаний маневр.

Таким чином, достатність маневру визначається не його параметрами як такими, а тим, наскільки однозначно його результат проявляється у зміні структури відносного руху. Якщо ця зміна не викликає сумнівів при спостереженні, маневр можна вважати ефективним. Якщо ж картина допускає різні інтерпретації, це свідчить про необхідність подальших дій.

Додатковим ускладнюючим фактором є взаємний характер розходження. Інше судно також може змінювати свої параметри руху, і ці зміни впливають на загальну картину. У такій ситуації судноводій змушений не лише оцінювати наслідки власного маневру, але й враховувати реакцію іншого учасника руху. Радіолокація дозволяє відстежувати ці зміни, однак їх інтерпретація потребує постійної уваги і коригування первинного рішення.

У цьому процесі важливим є не тільки факт виконання маневру, але й його сприйняття. Зміна курсу або швидкості повинна бути такою, щоб її можна було однозначно ідентифікувати за радіолокаційною картиною. Якщо дія є надто незначною або розтягнутою у часі, вона може залишитися непоміченою або бути інтерпретована неоднозначно, що знижує ефективність взаємодії між суднами.

Цей підхід – розгляд маневру як цілеспрямованого переформування радіолокаційної картини з подальшим контролем його результату – у нормативному вигляді відповідає вимогам Правила 8 МПЗЗС-72. У практиці судноводіння він реалізується як безперервне співставлення наміру дії з фактичними змінами у відносному русі.

Таким чином, маневрування у системі взаємодії радіолокації та правил не може розглядатися як одноразове рішення. Воно є процесом, у якому кожна дія перевіряється через її відображення на індикаторі, а ефективність визначається здатністю судноводія досягти однозначної і стабільної зміни навігаційної обстановки.

5.3. Обмежена видимість як перехід до радіолокаційного способу сприйняття обстановки

Умови обмеженої видимості змінюють не лише джерело інформації про навігаційну обстановку, але й сам характер її сприйняття. У ситуації, коли зорові орієнтири відсутні або суттєво обмежені, радіолокаційне зображення перестає доповнювати візуальне спостереження і фактично заміщує його. Це означає, що судноводій змушений формувати уявлення про обстановку на основі непрямих ознак, які потребують інтерпретації.

На відміну від візуального сприйняття, де положення і рух іншого судна оцінюються безпосередньо, радіолокаційна картина відображає лише результати вимірювання та обробки сигналів. Кожна ціль на індикаторі є не самим об'єктом, а його відображенням, яке може містити похибки, затримки та спотворення. У зв'язку з цим будь-який висновок про характер руху формується не миттєво, а поступово, у процесі накопичення і уточнення даних.

Ця особливість зумовлює появу специфічного виду невизначеності, який відсутній у візуальних умовах. Якщо при прямому спостереженні сумніви стосуються переважно намірів іншого судна, то при радіолокаційному спостереженні до них додається невпевненість у самій основі аналізу. Зміна курсу або швидкості цілі може бути зафіксована із запізненням, а розрахункові параметри зближення – відображати вже застарілу ситуацію. У результаті судноводій змушений постійно співставляти отриману інформацію з можливими варіантами її похибок.

У таких умовах змінюється і сама структура спостереження. Радіолокаційна картина перестає сприйматися як статичний образ і розглядається як процес, у якому ключове значення має не лише поточний стан, але й динаміка його зміни. Навіть незначні коливання параметрів або нестабільність супроводження цілі можуть розглядатися як ознаки потенційної небезпеки, оскільки вони свідчать про відсутність повної визначеності у розвитку ситуації.

Особливої уваги потребує інтерпретація взаємного руху в умовах обмеженої видимості. За відсутності візуальних орієнтирів судноводій не має можливості підтвердити свої висновки альтернативним способом, і будь-яка помилка у розумінні геометрії руху набуває більшої ваги. Це стосується як оцінювання стабільності пеленга, так і аналізу змін відносного вектора. У таких ситуаціях навіть формально логічна картина може бути результатом неточних або неповних даних.

У зв'язку з цим змінюється і підхід до маневрування. Якщо у добрій видимості певна частина взаємодії між суднами може базуватися на візуальному сприйнятті і взаємному «зчитуванні» намірів, то в обмеженій видимості така можливість відсутня. Судноводій не може розраховувати на те, що інше судно правильно інтерпретує його дії або буде діяти відповідно до очікуваного сценарію. Усі рішення приймаються з урахуванням того, що ситуація може розвиватися за найменш сприятливим варіантом.

Це призводить до необхідності більш ранніх і більш однозначних дій. Маневр повинен не лише змінювати геометрію руху, але й створювати достатній запас безпеки, який враховує можливі похибки у визначенні параметрів і затримки у їх оновленні. Водночас надмірна обережність, що проявляється у запізнілих або невиразних діях, може призводити до протилежного ефекту, ускладнюючи ситуацію і зменшуючи можливості для подальшого маневрування.

Важливим елементом є також постійна переоцінка ситуації після виконання маневру. Умови обмеженої видимості не дозволяють однозначно підтвердити ефективність дії одразу після її виконання. Радіолокаційна картина потребує часу для відображення змін, і протягом цього періоду судноводій змушений діяти в умовах часткової невизначеності. Це вимагає збереження підвищеної уваги і готовності до додаткових рішень.

Саме така зміна характеру сприйняття, аналізу і дії відповідає тій логіці, яка у нормативному вигляді сформульована як особливий режим поведінки судна в умовах обмеженої видимості (Правило 19 МПЗС-72). У радіолокаційній практиці вона проявляється не як окремий набір вимог, а як перехід до іншого рівня роботи з інформацією.

Таким чином, обмежена видимість є не просто ускладненням навігаційних умов, а якісною зміною способу управління судном. Радіолокація стає основою формування уявлення про обстановку, а ефективність дій визначається здатністю судноводія працювати з неповною і потенційно неточною інформацією, зберігаючи контроль над розвитком ситуації та своєчасно реагуючи на її зміни.

5.4. Послідовність взаємодії радіолокаційної інформації та вимог МПЗС-72

Розглянуті особливості спостереження, інтерпретації та маневрування дозволяють представити процес управління судном у взаємодії з іншими суднами як цілісну, безперервну послідовність, у якій радіолокаційна інформація і нормативні вимоги функціонують не як окремі елементи, а як взаємопов'язані складові єдиної системи прийняття рішень.

У реальних умовах судноводіння цей процес не має чітко визначених етапів, які послідовно змінюють один одного. Навпаки, він розгортається у часі як динамічна взаємодія спостереження, оцінювання і дії, де кожен новий елемент інформації може змінити попередні висновки і вимагати перегляду прийнятого рішення.

Початковою основою є формування радіолокаційної картини обстановки. На цьому рівні судноводій сприймає ситуацію як відносно впорядковану структуру, у якій рух цілей піддається логічному поясненню і прогнозуванню. Однак ця впорядкованість не є гарантією безпеки – вона лише створює умови для її оцінювання.

Зміна характеру картини, поява нестійких ознак, суперечливих параметрів або відчуття невизначеності переводять спостереження у фазу інтерпретації. У цей момент судноводій фактично починає «працювати з ризиком», навіть якщо він ще не має чітко виражених кількісних характеристик. Саме ця здатність розпізнавати небезпечні тенденції у розвитку ситуації відповідає тій логіці, яка у нормативному вигляді сформульована як оцінювання ризику зіткнення (Правило 7 МПЗС-72).

Подальший розвиток процесу пов'язаний із переходом до дії. Маневрування у цьому контексті не є реакцією на вже сформовану небезпеку, а виступає як засіб управління її розвитком. Зміна курсу або швидкості спрямована на переформування радіолокаційної картини таким чином, щоб усунути невизначеність і створити однозначну тенденцію до безпечного розходження. Результат маневру оцінюється не за фактом його виконання, а за тим, як змінюється структура відносного руху. Саме така логіка відповідає практичній реалізації вимог Правила 8.

Однак виконання маневру не завершує процес. Після будь-якої дії радіолокаційна картина потребує повторного аналізу, оскільки її зміни відображаються із певною затримкою і можуть бути спотворені похибками вимірювання або реакцією іншого судна. Це означає, що судноводій знову повертається до етапу оцінювання, перевіряючи, чи дійсно виконаний маневр призвів до очікуваного результату. Таким чином, процес набуває циклічного характеру: спостереження переходить в інтерпретацію, інтерпретація – у дію, а дія – знову у спостереження.

В умовах обмеженої видимості ця послідовність зберігається, але реалізується за принципово інших умов. Відсутність візуальної інформації підвищує роль радіолокаційних даних, водночас збільшуючи рівень невизначеності. Судноводій змушений приймати рішення раніше, ніж картина

набуває повної визначеності, і одночасно бути готовим до їх коригування. У цьому режимі вся система функціонує з підвищеною напругою, що відповідає логіці Правила 19.

Особливістю описаного процесу є те, що він не допускає остаточних рішень. Кожна дія залишається відкритою для перегляду, а будь-який висновок – для уточнення. Радіолокаційна інформація постійно змінюється, і разом з нею змінюється інтерпретація ситуації. Це вимагає від судноводія не лише знання правил і вміння користуватися технічними засобами, але й здатності працювати у стані невизначеності, зберігаючи логіку і послідовність своїх дій.

У цій системі радіолокація виконує роль інструмента формування і перевірки уявлення про обстановку, тоді як вимоги МПЗЗС-72 визначають принципи інтерпретації цієї інформації та межі допустимих рішень. Їх взаємодія не є формальним поєднанням, а проявляється у кожному елементі процесу управління судном.

Таким чином, ефективне судноводіння у сучасних умовах полягає не у послідовному застосуванні окремих знань, а у здатності об'єднати їх у єдину систему мислення. Саме у цій системі радіолокаційна картина сприймається не як сукупність сигналів, а як основа для прийняття рішень, а вимоги правил – не як зовнішні обмеження, а як внутрішня логіка дій судноводія.

5.5. Обмеження радіолокаційного спостереження та роль судноводія у прийнятті рішень

Розглянуті принципи інтеграції радіолокаційної інформації та вимог МПЗЗС-72 формують уявлення про процес управління судном як логічно впорядковану систему. Проте у практиці судноводіння ця система функціонує в умовах, які не забезпечують повної визначеності і не допускають однозначних рішень у кожній конкретній ситуації.

Радіолокаційне спостереження, незважаючи на його високу інформативність, має об'єктивні обмеження. Будь-яке радіолокаційне зображення є результатом вимірювання та обробки сигналів, що неминуче супроводжується похибками, затримками і спрощенням реальної картини руху. У зв'язку з цим навіть технічно коректне зображення не гарантує повного і точного відображення навігаційної обстановки.

Однією з найбільш характерних особливостей радіолокаційного сприйняття є можливість формування ілюзії визначеності. Стабільна картина відносного руху, чітко розраховані параметри зближення та відсутність видимих суперечностей можуть створювати відчуття повного контролю над ситуацією. Однак ця визначеність має умовний характер, оскільки базується на припущенні про незмінність параметрів руху та достовірність вихідних даних.

У практиці судноводіння саме такі ситуації можуть бути найбільш небезпечними. Надмірна довіра до розрахункових параметрів, зокрема значень мінімальної дистанції зближення, здатна призвести до запізненого реагування або до відмови від маневру в умовах, коли він є необхідним. При цьому помилка

виникає не через відсутність інформації, а внаслідок її неправильної інтерпретації.

Іншою характерною проблемою є прагнення до отримання «повної» або «остаточної» картини перед прийняттям рішення. Радіолокаційне спостереження потребує часу для стабілізації параметрів, однак очікування їх остаточного уточнення може призвести до втрати можливості своєчасного впливу на ситуацію. У результаті судноводій опиняється у стані, коли інформація стає більш точною, але можливості для маневрування – обмеженими.

У цьому контексті особливого значення набуває здатність працювати в умовах невизначеності. Ефективне управління судном передбачає прийняття рішень не тоді, коли ситуація повністю зрозуміла, а тоді, коли її розвиток стає достатньо передбачуваним для обґрунтованої дії. Це вимагає поєднання технічного аналізу з професійним досвідом і критичним ставленням до отриманої інформації.

Важливим аспектом є також розуміння того, що радіолокація не визначає дії судноводія, а лише створює інформаційну основу для їх вибору. Вона не містить ознак пріоритету, не встановлює характер взаємодії між суднами і не враховує наміри інших учасників руху. Усі ці елементи додаються у процесі інтерпретації відповідно до вимог МПЗЗС-72.

Саме тому центральною ланкою системи управління залишається судноводій. Його роль полягає не лише у спостереженні та аналізі, але й у прийнятті відповідальності за рішення, які приймаються в умовах неповної інформації. Здатність правильно оцінити ситуацію, своєчасно виявити її зміну і обрати адекватний спосіб дії визначає ефективність використання як радіолокаційних засобів, так і нормативної бази.

Таким чином, обмеження радіолокаційного спостереження не знижують його значення у забезпеченні безпеки судноплавства, але визначають межі його застосування. У цих межах ефективність управління судном залежить не від обсягу отриманої інформації, а від здатності судноводія інтегрувати її у процес прийняття рішень, враховуючи як її можливості, так і обмеження.

У підсумку можна зазначити, що професійне судноводіння формується не як сума знань про технічні засоби і правила, а як цілісна система мислення, у межах якої радіолокаційна інформація використовується як інструмент, а вимоги МПЗЗС-72 – як внутрішня логіка дій. Саме це поєднання забезпечує здатність ефективно діяти у складних і змінних умовах навігаційної обстановки. У цьому полягає відмінність між володінням засобами навігації і здатністю до професійного управління судном.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. International Maritime Organization International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974, as amended. – London : IMO, 2024.
2. International Maritime Organization Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs). – London : IMO, 2022.
3. International Maritime Organization International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), 1978, as amended. – London : IMO, 2023.
4. International Maritime Organization IMO Resolution A.823(19). Performance Standards for Automatic Radar Plotting Aids (ARPA). – London : IMO, 1995.
5. International Maritime Organization IMO Resolution MSC.192(79). Adoption of the Revised Performance Standards for Radar Equipment. – London : IMO, 2004.
6. International Maritime Organization IMO Resolution MSC.232(82). Adoption of the Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). – London : IMO, 2006.
7. International Maritime Organization IMO Model Course 1.07 : Radar Navigation, Radar Plotting and Use of ARPA. – London : IMO, 2017.
8. International Maritime Organization IMO Model Course 1.08 : Radar, ARPA, Bridge Teamwork and Search and Rescue. – London : IMO, 2015.
9. International Maritime Organization IMO Model Course 1.27 : Operational Use of Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS). – London : IMO, 2012.
10. International Hydrographic Organization S-52 : Specifications for Chart Content and Display Aspects of ECDIS. – Monaco : IHO, 2014.
11. International Hydrographic Organization S-57 : IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data. – Monaco : IHO, 2000.
12. International Hydrographic Organization S-100 : Universal Hydrographic Data Model. – Monaco : IHO, 2020.
13. International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities Maritime Buoyage System. – Saint-Germain-en-Laye : IALA, 2018.
14. The Radar and ARPA Manual / A. Bole, W. O. Dineley, A. D. Wall. – 3rd ed. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2014. – 576 p.
15. The Radar Observer's Handbook / W. Burger. – 3rd ed. – Centreville : Cornell Maritime Press, 2020. – 320 p.
16. The American Practical Navigator. – Bethesda : National Geospatial-Intelligence Agency, 2024.
17. Bridge Procedures Guide. – 6th ed. – London : ICS, 2022.
18. Bole A. G., Jones K. D. Automatic Radar Plotting Aids Manual: A Mariner's Guide to the Use of ARPA. – London : Heinemann, 1981. – 104 p.
19. Brunicardi D. Radar and AIS for Watchkeeping Officers. – Glasgow : Brown, Son & Ferguson, 2012. – 440 p.
20. Weintrit A. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation : Advances in Marine Navigation. – London : CRC Press, 2013. – 452 p.

21. Weintrit A., Neumann T. Information, Communication and Environment : Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – London : CRC Press, 2015. – 336 p.
22. Admiralty Manual of Navigation. Vol. 1 : The Principles of Navigation. – London : UK Hydrographic Office, 1987.
23. Admiralty List of Radio Signals. – London : UK Hydrographic Office, 2024.
24. Tsou M.-C. Multi-target Collision Avoidance Route Planning under an ECDIS Framework // Ocean Engineering. – 2016. – Vol. 121. – P. 268–278.
25. Baldauf M., Benedict K., Fischer S. Integrated Navigation Systems for Ship Safety and Efficiency // TransNav : International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2011. – Vol. 5, No. 2. – P. 115–120.
26. Grech M., Horberry T., Koester T. Human Factors in the Maritime Domain. – Boca Raton : CRC Press, 2008. – 344 p.
27. Hetherington C., Flin R., Mearns K. Safety in Shipping : The Human Element // Journal of Safety Research. – 2006. – Vol. 37, No. 4. – P. 401–411.

Навчальне видання

КАЛІНІЧЕНКО Євгеній Володимирович,
РОССОМАХА Олена Ігорівна,
КОЛЕСНИК Олександр Володимирович,
ТОМЧАКОВСЬКИЙ Георгій Георгійович
ХЛІБНИКОВ Сергій Леонідович

**Міжнародні правила запобігання зіткнення суден на морі та використання
радіолокаційних систем і використання засобів автоматичної
радіолокаційної прокладки при розходженні суден**

Навчальний посібник

**Частина 2.
ВИКОРИСТАННЯ РЛС і АРПА**

За заг. ред. Є. В. Калініченка

Редакційна підготовка та комп'ютерне верстання: А. О. Ролінський

Підписано до друку 28.02.2026.
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Ум-друк. арк. 10,92.
Наклад 300 прим. Зам. № И24-03-.

Національний університет «Одеська морська академія»
(Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1292 від 20.03.2003).
Україна, 65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8, корп.7.
Тел. +38 (0482) 34-14-12
e-mail: publish@ma.odessa.ua