



В. В. Бєлов

МОРСЬКА ГЕОДЕЗІЯ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

В. В. Бєлов

МОРСЬКА ГЕОДЕЗІЯ

Конспект лекцій

Одеса — 2011

ББК 26.12
Б43
УДК 528.45

Друкується за рішенням вченої ради
Одеського державного екологічного університету
(протокол № 8 від 28.10.2010 р.).

Бєлов В. В.

Морська геодезія: Конспект лекцій. — Одеса: Екологія,
2011. — 64 с.

У конспекті лекцій викладено основи морської геодезії з урахуванням сучасних методів позиціювання. Наведені основні положення системи координат WGS-84, відомості про глобальні системи супутникового позиціонування і правила проведення супутникових спостережень. Розглянуті методи визначення місця судна морі і прилади, необхідні для орієнтування суден, завдання морської геодезії для гідрографів.

Конспект лекцій розраховано для студентів, магістрів, аспірантів гідрографічного напрямку навчання.

© Одеський державний екологічний
університет, 2011

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
1 СВІТОВА ГЕОДЕЗИЧНА СИСТЕМА КООРДИНАТ.....	6
1.1 Основні положення	6
1.2 Визначення системи WGS-84	7
1.3 Впровадження світової геодезичної системи WGS-84 на території України.....	8
2 ГЛОБАЛЬНІ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ	10
2.1 Призначення глобальних систем супутникового позиціонування (ГССП) та їх попередники	10
2.2 Фізичні і геометричні принципи дії GPS	12
2.3 Методи вимірювання відстаней.....	14
2.4 Техніка формування кодових послідовностей	15
2.5 Структура і передача навігаційного сигналу	17
2.6 Прийом і обробка сигналів.....	19
3 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ.....	20
3.1 Призначення геодезичних мереж	20
3.2 Супутникові мережі	20
3.3 Прив'язка початкового пункту до загальноземної геоцентричної системи координат.....	22
3.4 Проведення супутникових спостережень.....	22
4 ВИМІРИ КУТІВ, ВІДСТАНЕЙ ТА ЇХ ПРИЛАДОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	23
4.1 Пряма і зворотна геодезичні задачі	23
4.2 Гірокомпас і супутниковий компас.....	26
4.3 Лінійні виміри.....	30
4.3.1 Прилади для безпосередніх лінійних вимірів.....	30
4.3.2 Вимірювання відстаней оптичними далекомірами.....	30
4.3.3 Вимірювання відстаней світло- і радіодалекомірами.....	31
4.3.4 Метод засічок для визначення відстаней.....	32
4.4 Кутові виміри.....	33
4.5 Вимір перевищень	33
4.5.1 Геометричне нівелювання	33
4.5.2 Тригонометричне нівелювання	34
4.5.3 Гідростатичне нівелювання.....	34
4.5.4 Гідромеханічне нівелювання	34
4.5.5 Вимірювання перевищень лазерними приладами.....	34
5 ПРИКЛАДНІ ЗАВДАННЯ МОРСЬКОЇ ГЕОДЕЗІЇ.....	35
5.1 Зближення меридіанів	35
5.2 Дальність видимості предметів і вогнів.....	36

5.3 Теорія створів. Чутливість створу	37
5.4 Організація гідрометричних робіт при експлуатації судноплавних каналів	39
5.4.1 Промірні роботи.....	43
5.4.2 Підготовка до проведення зйомки.....	44
5.4.3 Виконання зйомки	46
5.4.4 Обробка матеріалів зйомки.....	47
5.5 Виконання промірних робіт з навігаційною метою	49
5.6 Зображення на картах об'єктів гідрографії	51
6 ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ СУДНА В МОРІ.....	55
6.1 Навігаційні параметри і навігаційні ізолінії.....	55
6.2 Визначення місця судна по двох кутах.....	56
6.3 Визначення місця судна по двох пеленгах	57
6.4 Визначення місця судна по крюйс-пеленгу	57
6.5 Визначення місця судна за допомогою суднової радіолокаційної станції.....	58
6.6 Визначення місця судна по віялу пеленгів і відстаней	58
6.7 Визначення місця судна по радіолокаційних відстанях.....	59
6.8 Визначення місця судна по секторних радіомаяках.....	60
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	63

ПЕРЕДМОВА

Геодезія - система наук про визначення форми і розмірів Землі, про вимірювання на земній поверхні для відображення її на планах і картах. Геодезія пов'язана з астрономією, геофізикою, космонавтикою, картографією і ін., широко використовується при проектуванні і будівництві споруд, судноплавних каналів, доріг.

Геодезія підрозділяється на:

- астрономогеодезію, що вивчає фігуру і гравітаційне поле Землі;
- теорію і методи побудови опорної геодезичної мережі;
- топографію;
- прикладну геодезію;
- морську геодезію.

Основним напрямом морської геодезії є створення і впровадження сучасних технологій, пов'язаних із збором, обробкою і використанням навігаційно-гідрографічної інформації для вирішення таких завдань:

- проведення гідрографічної зйомки;
- виготовлення карт (традиційні паперові й електронні карти);
- суднові навігаційні системи з електронною картою;
- інформаційні системи з електронною картою;
- системи управління рухом суден;

Геодезичне обґрунтування необхідне для супроводу днопоглиблювальних робіт, гідрографічних робіт для забезпечення безпеки мореплавства, пошуку об'єктів на дні, обстеження підводних переходів нафто- і газопроводів, інспекції підводних частин гідротехнічних споруд.

Дисципліна «Морська геодезія» відноситься до професійно орієнтованого циклу навчального плану підготовки студентів з напрямку підготовки «Гідрографія» – 7.07065.

Мета і завдання дисципліни – вивчення сучасної теорії і практики прикладної геодезії для наукових та інженерних досліджень, проектування, будівництва і експлуатації інженерних споруд на морі і в його прибережній частині, забезпечення навігації суден.

У результаті вивчення дисципліни студенти забувають базові знання для вирішення практичних задач в професійній роботі гідрографів, вимог офіційних нормативів при гідрографічних роботах.

Конспект лекцій розраховано на студентів, які засвоїли курси фізики, вищої математики, геодезії, фізичної гідрографії, метеорології й інші.

У конспекті лекцій використані законодавчі, нормативні акти і керівництва Укргеодезії, Держгідрографії, Регістру судноплавства України, ЦНИИГАиК (Росія).

1 СВІТОВА ГЕОДЕЗИЧНА СИСТЕМА КООРДИНАТ WGS-84

1.1 Основні положення

Однією з важливих геодезичних задач є визначення місцеположення точки на поверхні Землі з необхідною точністю. Місцеположення точки визначається трьома просторовими координатами в прийнятій системі відліку. При цьому система відліку є основою для забезпечення високої точності та єдності вимірів.

Значну роль в розвитку геодезії і вдосконаленні існуючих систем відліку відіграла поява глобальних супутникових радіонавігаційних систем координатно-часового забезпечення GPS (США), ГАЛІЛЕО (Європа), ГЛОНАС (Росія), з допомогою яких стало можливим з високою точністю і оперативністю визначати координати пунктів спостережень, в тому числі і їх висотну складову.

Виконання високоточних вимірювань з використанням супутникових радіонавігаційних систем тісно пов'язано з визначенням координатних систем, відносно яких виконуються виміри. Вимірювання навігаційних параметрів супутників глобальної радіонавігаційної системи GPS і визначення місцеположення точок земної поверхні з використанням супутникових приймачів виконуються в різних системах координат. Вимірювання ведуться в системі координат супутників, не пов'язаній з добовим обертанням Землі, а результати вимірювань представляються в системі координат, жорстко пов'язаній з Землею. В зв'язку з тим, що початки відліку цих двох систем безперервно зміщуються одна відносно другої, їх погодження необхідно виконувати з достатньо високою точністю в кожному сеансі спостережень.

В глобальній системі позиціонування GPS як система відліку використовується Світова геодезична система 1984 року (WGS-84). Ця система прийнята для України згідно Постанови Кабінету Міністрів України «Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84» №2359 від 22.12.1999 р. та розпорядження Кабінету Міністрів «Про затвердження плану заходів щодо впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84» №320 від 11.08.2000 р.

Створення апаратури і методів координатних визначень на основі супутникових радіонавігаційних систем радикальним чином змінило саме уявлення про геодезичні роботи. Нові супутникові методи в порівнянні з традиційними мають багато переваг. До них передусім слід віднести:

- можливість передачі координат практично на будь-якій відстані з

оперативністю й точністю, недосяжною для традиційних методів;

- необов'язковість взаємної видимості між пунктами, що дає змогу без спорудження геодезичних знаків розміщувати пункти в місцях, найбільш сприятливих для їх збереження та подальшого використання;

- зниження вимог до густоти вихідної геодезичної мережі, що дозволяє значно зменшити кількість геодезичних пунктів опорних мереж;

- більшу простоту в організації та виконанні робіт, особливо у важкодоступних районах;

- вищий рівень автоматизації на всіх стадіях виконання робіт, відсутність технічної залежності від часу доби, року, погодних умов;

- кращі можливості для об'єднання точної планової та висотної геодезичних основ на базі використання єдиної технології, суміщення пунктів, носіїв координат і висот та для зв'язку існуючих планових і висотних мереж.

1.2 Визначення системи WGS-84

Світова геодезична система включає фундаментальні астрономічні та геодезичні сталі, модель гравітаційного поля Землі у вигляді коефіцієнтів розкладення геопотенціалу в ряд по шарових функціях, карти висот геоїда над еліпсоїдом. Практична реалізація системи WGS-84 здійснена низкою станцій Системи оперативного управління з відомими координатами, які задають початок системи координат, орієнтацію її осей та масштаб.

Світова геодезична система WGS-84 являє собою загальноземну референтну систему. Визначення цієї системи дано Міжнародною службою обертання Землі. Основні критерії цієї системи такі:

- геоцентрична, при визначенні центру мас враховуються також маси океанів та атмосфери;

- масштаб системи такий як і в локальній системі координат з врахуванням релятивістської теорії гравітаційного поля;

- орієнтація системи — за визначенням Міжнародного Бюро Часу на епоху 1984 року;

- зміни її положення з часом повинні узгоджуватися з рухом земної кори.

Система WGS-84 є правосторонньою ортогональною системою координат, початок якої суміщений з центром мас Землі (рис.1.1).

Початок та осі системи WGS-84 задаються таким чином:

- Початок координат — Центр мас Землі
- Вісь Z — направлена на Умовний земний полюс, як рекомендовано Міжнародною службою обертання Землі. Цей напрямок відповідає напрямку на загальноземний полюс за визначенням Міжнародного Бюро Часу на епоху 1984 р. з похибкою 0.005"

- Вісь X — направлена в точку перетину нульового меридіана з площиною екватора, яка встановлена Міжнародною службою обертання Землі.
- Вісь Y — завершує правосторонню ортогональну систему координат з початком в центрі мас Землі. Вона розміщена в площині екватора під кутом 90 градусів на схід від осі X.

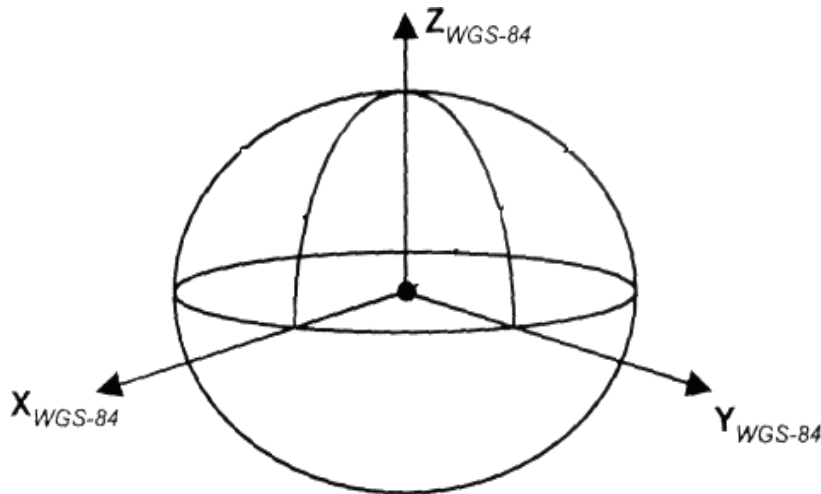


Рис.1.1 - Система координат WGS-84

Координатна система WGS-84 суміщена з геометричним центром загальноземного еліпсоїда WGS-84, а вісь Z — з віссю обертання цього еліпсоїда.

1.3 Впровадження світової геодезичної системи WGS-84 на території України

Практична реалізація системи WGS-84 здійснена через мережу станцій, розташованих по всій території Землі, які закріплюють дану систему координат.

Основною ланкою всієї структури реалізації системи WGS-84 на території країни є перманентна мережа супутникових радіонавігаційних спостережень, яка є складовою частиною Фундаментальної геодезичної мережі. Основні функції мережі:

- задавання та оперативне відтворення загальноземної геоцентричної системи координат;
- усунення можливих спотворень державної геодезичної мережі та мереж згущення в регіональному та глобальному масштабах;
- експериментальне виявлення та облік деформуючого впливу геодинамічних процесів на стабільність координатної основи (так зване приведення до єдиної епохи);

– метрологічне забезпечення перспективної виробничої діяльності (еталонування й атестація майбутніх високоточних космічних та інших систем).

Виходячи із фундаментального призначення перманентної мережі, її пункти повинні бути рівномірно розміщені по всій території країни з середніми відстанями між ними 200-300 км. Цих пунктів має бути 8-10. Взаємне положення суміжних пунктів слід визначати з відносною помилкою порядку $1:10^{-8}$. Такого ж порядку помилки допустимі в геоцентричних радіус-векторах пунктів.

Технічне оснащення робіт зі створення перманентної мережі є таким, щоб забезпечити не тільки високоточне визначення взаємного положення пунктів, але і їх зв'язок з центром маси Землі. Частина пунктів перманентної мережі повинна бути постійно діючими обсерваторіями. Наявність такої кількості спеціально обладнаних обсерваторій, на яких виконується комплекс супутникових, астрономо-геодезичних, гравіметричних та геофізичних спостережень, забезпечує безперервне відтворення загальноземної геодезичної системи координат та редукування результатів спостережень і координатних визначень на єдину епоху з врахуванням релятивістських ефектів, припливних та інших рухів земної кори.

Пункти Київ (Голосіїв), Ужгород, Полтава, Чернівці, Дніпропетровськ, Алчевськ, Миколаїв, Євпаторія та Львів обладнані постійно діючими супутниковими приймачами і працюють в рамках європейського проекту та Міжнародної служби вивчення геодинаміки.

Пункти перманентної мережі включені в мережу високоточного нівелювання, що дозволить контролювати, а в майбутньому і уточнювати зміни в часі системи нівелірних висот. На всіх пунктах перманентної мережі повинні бути виконані та регулярно повторюватися визначення сили тяжіння, що дозволить контролювати стабільність гравітаційного поля і вводити відповідні редукції в результати геодезичних вимірів.

Контрольні питання:

- 1. Яким чином визначається положення точки на поверхні Землі в Системі координат WGS-84?*
- 2. Основні критерії системи координат WGS-84.*
- 3. Початок та осі системи WGS-84.*
- 4. Основна ланка структури системи WGS-84 на території України.*

2 ГЛОБАЛЬНІ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

2.1 Призначення глобальних систем супутникового позиціонування (ГССП) та їх попередники

ГССП призначені для визначення просторових координат (позиціонування) і швидкості об'єктів на поверхні Землі, в навколоземному повітряному і космічному просторі, а також забезпечення користувачів сигналами системного часу, прив'язаного до міжнародних тимчасових шкал.

Попередники сучасних ГССП:

- радіодалекомірні навігаційні системи HIRAN, DEKKA (розвивалися під час другої світової війни для потреб ВВС);

- ГССП 1-го покоління NNSS “Transit” (USA, введена в експлуатацію в 1964 р., відкрита для цивільного використання в 1967р.), «Цикада» (СССР, введена в експлуатацію в 1979 р.).

ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Система). Розробка системи почата в середині 1970-х. Розгортання почате в 1982 р. Прийнята в експлуатацію в 1993 р. Відкрита для цивільного використання в 1995 р.

GPS або NAVSTAR (Система Глобального Позиціонування або Навігаційна Система визначення Часу і Відстані). Розробка системи почата в 1973 році. Розгортання почате в 1978 р. Прийнята в експлуатацію в 1995 р. Дані про ці системи приведені в табл. 2.1 и рис. 2.1, 2.2.

Таблиця 2.1 – Космічний сегмент систем GPS і ГЛОНАСС

Параметр	ГЛОНАСС	GPS	ГАЛІЛЕО
Число ШСЗ в системі	24 (3 в запасі)	24 (4 в запасі)	30
Число орбітальних площин	3	6	3
Нахил орбіти	64,8°	55°	54°
Період обертання ШСЗ	11 годин 15 хвилин 44 с	11 годин 58 хвилин 00 с	
Висота ШСЗ над поверхнею землі	19100 км	20150 км	22966 км
Система координат	ПЗ-90	WGS-84	GTKS
Термін активного існування	3 роки	7,5 років	12 років



Рис.2.1 - Космічний сегмент системи ГЛОНАСС

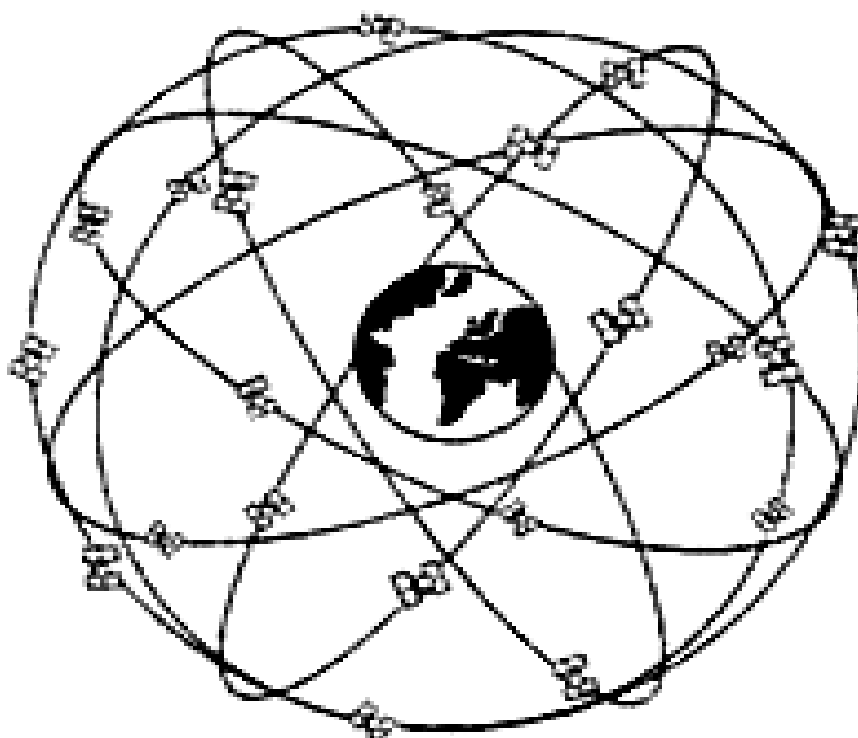


Рис. 2.2 - Космічний сегмент системи GPS

2.2 Фізичні і геометричні принципи дії GPS

Хоча глобальні навігаційні супутникові системи є надзвичайно складними і високоорганізованими технічними системами, ідеї і принципи, на яких заснована їх дія, вельми прості: це - визначення місцеположення об'єкту шляхом вимірювання відстані до нього від початкових точок, координати яких відомі. Складність же реалізації цих ідей обумовлена прагненням зробити систему доступною у будь-який час на всій Землі і в навколишньому просторі (глобальною). Для цього як початкові точки вибрані штучні супутники Землі, які випромінюють далекомірні радіосигнали, які користувач приймає на спеціальний приймач. Але супутники рухаються по своїх орбітах, це означає що система повинна надавати користувачеві інформацію про координати ШСЗ на будь-який момент виконання вимірювань.

У основі вживаного в ГНСС GPS методу визначення місцеположення лежить так звана лінійна геодезична засічка. Її суть зводиться до відомого з школи геометричного завдання: знайти на площині положення точки P_0 , якщо відомі положення двох інших точок P_1 і P_2 і відстані від них ρ_1 і ρ_2 до точки P_0 (рис.2.3). Точка P_0 , очевидно, належить одночасно двом колам з радіусами ρ_1 і ρ_2 , описаним з центрів P_1 і P_2 , тобто є однією з двох точок перетину цих кіл. У аналітичному уявленні це завдання виражається у вигляді системи двох рівнянь:

$$\rho_1 = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2} \quad (2.1)$$

$$\rho_2 = \sqrt{(X_2 - X_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2}$$

де X_j, Y_j ($j = 0, 1, 2$) – прямокутні координати точок на площині.

Координати X_0, Y_0 точки P_0 визначають з розв'язку системи (2.1) двох рівнянь з двома невідомими.

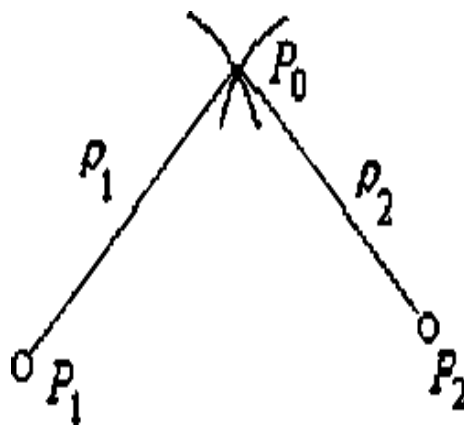


Рис. 2.3 – Геометрична засічка

При узагальненні цього завдання від плоскої побудови до просторового вводиться третя координата Z . Отже, для визначення тепер уже трьох шуканих координат X_0, Y_0, Z_0 точки P_0 знадобиться вирішувати систему з трьох рівнянь:

$$\rho_i = \sqrt{(X_i - X_0)^2 + (Y_i - Y_0)^2 + (Z_i - Z_0)^2}, i=1,2,3 \quad (2.2)$$

Отже при вирішенні просторової лінійної засічки повинно бути 3 початкових пункти. Зрозуміло, кількість початкових точок, до яких зміряні відстані, може бути і більше трьох, тоді система (2.2) стає перевизначеною і завдання вирішується методом найменших квадратів. Залучення надмірних вимірювань, крім підвищення точності визначення координат, дає ще можливість включення в систему рівнянь додаткових невідомих параметрів, визначення яких необхідне для роботи з GPS, в першу чергу - поправки годинника на супутнику і в приймачі.

За допомогою описаного методу геодезичної засічки в ГНСС вирішуються два головні завдання (рис. 2.4):

- визначення координат супутника по зміряних до нього відстанях від наземних пунктів з відомими координатами (пряма геодезична засічка)
- визначення координат наземного (або надземного) об'єкта зміряних до нього відстанях від декількох супутників, координати яких відомі (зворотна геодезична засічка).

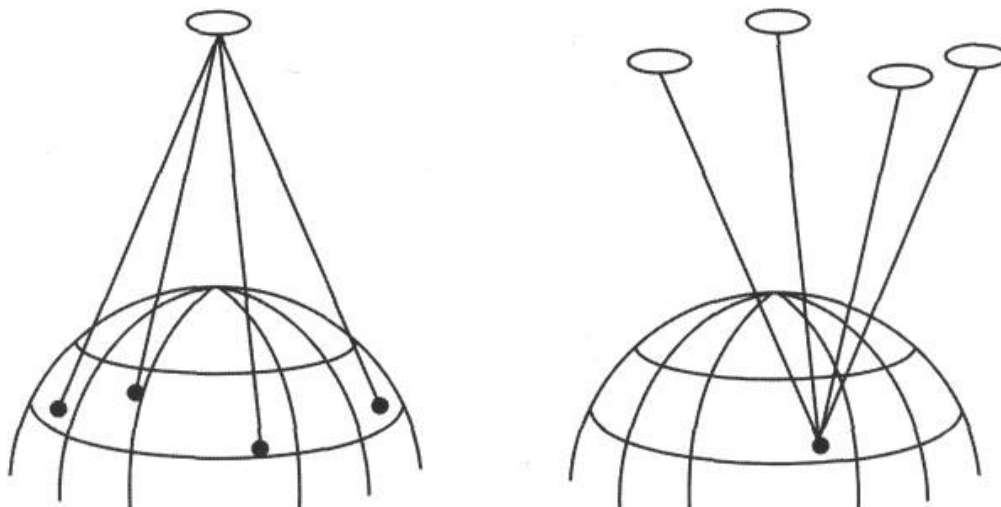


Рис. 2.4 – Схеми визначення координат супутника (а) і наземного пункту (б).

Першу задачу вирішує служба управління системою, другу - споживач.

2.3 Методи вимірювання відстаней

Вимірювання відстаней до супутників проводяться за допомогою їх локації електромагнітними хвилями світлового або радіо діапазонів. Фактично вимірюється час розповсюдження хвиль між супутником і приймачем, а шукана відстань ρ обчислюється за формулою:

$$\rho = c\tau \quad (2.3)$$

де c – швидкість світла.

Існують однонаправлені і двонаправлені методи локації. При використанні методу лазерної локації ШСЗ світловий імпульс випромінюється наземним далекоміром в момент t_E досягає супутника і, відбившись від встановленого на ній блоку призми, повертається до далекоміра у момент t_Q . Оскільки імпульс пробігає трасу двічі (прямо і назад), у формулі (2.3) слід вважати $\tau = (t_Q - t_E) / 2$. Відзначимо, що моменти випромінювання і прийому світлового імпульсу реєструються за допомогою одного пристрою - вимірника інтервалів часу, завдяки чому тут не виникає проблема взаємної синхронізації годинника. В той же час, метод лазерної локації ШСЗ вимагає вельми громіздкого і дорогого електронного і оптичного устаткування, що встановлюється зазвичай стаціонарно, і хоча на супутниках GPS є відбивачі, лазерна локація їх застосовується тільки для вирішення спеціальних завдань калібрування.

Радіодалекомірний метод, який був вжитий в GPS, однонаправлений: сигнал випромінюється передавачем супутника і реєструється приймачем користувача. Значить, у формулі (2.3) слід вважати $\tau = t_Q - t_E$. Але це останнє співвідношення справедливе тільки за умови, що обидва моменти t_Q , t_E виражені в одній і тій же шкалі часу. Реальне ж випромінювання сигналу фіксується по годиннику, встановленому на супутнику, а прийом - по годиннику приймача. Цей, здавалося б, маленький нюанс насправді є ключовим, визначаючи зовнішність системи GPS: її пристрій, методика вимірювань і їх обробки підпорядковані необхідності взаємних звірень бортового годинника і годинника користувача. З іншого боку, користувач отримує додаткову інформацію про точний час, що робить GPS не тільки системою позиціонування, але координатно-тимчасовою системою.

Розглянемо це питання декілька докладніше. Позначимо через t^s показання годинників на супутнику у момент випромінювання ним сигналу, а через t_R - показання годинників приймача у момент прийому цього сигналу. Позначимо, далі, через σ^s і σ_R поправки цього годинника, який потрібно додати до їх свідчень, щоб отримати час за вибраною еталонною шкалою, яку називатимемо системною шкалою GPS. З

урахуванням цих позначень формула (2.3) набере вигляд:

$$\rho = c[(t_R + \delta_R) - (t^s + \delta^s)] = c(t_R - t^s) + c(\delta_R - \delta^s) = R + c\Delta\delta. \quad (2.4)$$

У цій формулі R є зміряна відстань між приймачем і супутником, яка називається «псевдодальністю». Вона відрізняється від дійсної геометричної дальності ρ на величину $c\Delta\delta$, обумовлену неврахованим впливом поправок годинника супутника і приймача, який до моменту вимірювань невідомий. Втім, для виконання навігаційних і геодезичних робіт в реальному часі служба управління GPS веде вимірювання і прогноз поправок годинника кожного супутника і ці дані, а також прогнозовані параметри орбіт супутників, передає для споживачів разом з вимірювальними сигналами. Залишається визначити поправку годинника приймача.

З рівнянь (2.2) і (2.4) маємо:

$$R = \rho - c\Delta\delta = \sqrt{(X_i^s - X_0)^2 + (Y_i^s - Y_0)^2 + (Z_i^s - Z_0)^2} - c(\delta_R - \delta^s). \quad (2.5)$$

Це і є основне рівняння для вирішення навігаційного завдання за допомогою GPS. У ньому - чотири невідомих: координати пункту X_0 , Y_0 , Z_0 і поправка годинника приймача δ_R . Для їх визначення необхідно скласти і розв'язати систему з чотирьох таких рівнянь ($i = 1, 2, 3, 4$), тобто використовувати спостереження мінімум чотирьох супутників.

2.4 Техніка формування кодових послідовностей

Для того, щоб зміряти час розповсюдження електромагнітних хвиль від джерела до приймача, необхідно вибрати якийсь інформаційний сигнал що дозволяє реєструвати моменти випромінювання і прийому. У так званих імпульсних способах випромінюється короткий сигнал (імпульс) і вимірюється безпосередньо час, що витрачається їм на розповсюдження уздовж вимірюваної лінії. При використанні фазового способу час вимірюється не безпосередньо, а через вимірювання здвигу фаз між прийнятими і опорними коливаннями. У системі GPS застосований комбінований метод: випромінюваний і опорний сигнали формуються у вигляді нерегулярної (але однаковою для джерела і приймача) послідовності імпульсів, а вимірювальною інформацією служить фазовий здвиг між цими послідовностями. Така нерегулярна послідовність імпульсів носить назву псевдовипадковою, оскільки на перший погляд схожа на випадкову послідовність, але все таки формується за певним правилом і її фрагменти через обумовлений час повторюються.

Кодування випромінюваного супутником радіосигналу псевдовипадковою послідовністю імпульсів, крім завдання власне далекомірних вимірювань, вирішує ще декілька завдань:

- створення як найкращих умов розрізнення сигналу в апаратурі приймача на фоні шумів;
- ототожнення конкретного супутника, що послав сигнал (кожному супутнику призначена своя кодова послідовність);
- реалізація режиму обмеженого доступу до GPS, коли високоточні вимірювання можливі лише при санкціонованому використанні системи (користувач повинен знати алгоритм побудови кодової послідовності).

Для генерування псевдовипадкової послідовності використовується логічний пристрій, званий стрічковий зсувний регістр. Він містить деяку кількість однобітових комірок (у табл. 2.1 вони помічені номерами 1-5). При подачі на регістр імпульсу, що управляє (тактового), вміст кожної комірки (1 або 0) переміщається в сусідню (на малюнку - направо), а вміст найостанньої комірки розглядається як черговий стан вихідного сигналу. У першу комірку, що звільнилась, посилається значення 1 або 0, отримуване шляхом логічного підсумовування вмісту двох інших заданих комірок (від їх вибору і залежить отримувана на виході псевдовипадкова послідовність).

Таблиця 2.1 – Принцип роботи сдвигового регістра

Номери комірок	1	2	3	4	5
Початкове	1	0	1	1	0
Наступне	1	1	0	1	1

У таблиці 2.1, задану пару утворюють комірки з номерами 2 і 3. Під дією імпульсу, що управляє, вміст комірок 1-4 переміщається в комірки 2-5, на вихід пристрою поступає 0 (з 5 комірки), а в комірку №1 записується значення 1 (логічна сума з комірок №№ 2 і 3). Можна переконатися, що при подальшому надходженні імпульсів, що управляють, на виході пристрою утворюється послідовність 1101110010...

Для формування загальнодоступного коду *C/A* (*Clear Access*) використовується комбінація з двох 10-бітових зсувних регістрів, вихідні сигнали яких складаються по модулю 2. Частота проходження тактових імпульсів складає 1,023 МГц, а період повторення псевдовипадкової послідовності рівний 1023 циклам, отже його тривалість - 1 мілісекунда. Формування захищеного коду *P* (*Protected*) відбувається по складнішому

алгоритму: він утворюється шляхом комбінування двох послідовностей, кожна з яких генерується парою зсувних регістрів. Завдяки цьому послідовність дуже довго не повторюється (більше 2×10^{14} циклів), що при частоті проходження тактових імпульсів 10,23 МГц складає 266,4 діб. Цим досягається високий ступінь захищеності *P-кода* від несанкціонованого доступу. Кожному супутнику індивідуально призначається тижневий відрізок з цієї довгої послідовності. Старт тижневого циклу завжди відбувається у неділю 0 годині всесвітнього часу. Не дивлячись на високий ступінь захищеності, передбачена ще можливість додаткового засекречування *P-кода* - перетворення його на зашифрований *Y-код* (режим *AS - Anti-spoofing*).

2.5 Структура і передача навігаційного сигналу

Формування тактових імпульсів для відтворення кодових послідовностей *C/A* і *P-кодів*, а також і інших сигналів відбувається на основі використання одного опорного генератора. Цей генератор є основою бортового «годинника», забезпечуючи синхронізацію і тимчасову прив'язку всіх процесів. Базова частота, відтворна опорним генератором, складає $f_0 = 10,23$ МГц (з добовою нестабільністю 10^{-13}). Шляхом множення або ділення частоти f_0 (табл. 2.2) отримують дві несучі частоти, які позначаються як *L1* і *L2*, тактові імпульси для відтворення кодових послідовностей і низької частоти (50 Гц) для передачі навігаційного повідомлення.

Несучі частоти, які служать для передачі сигналу до ефіру, модулюються вимірювальними кодовими послідовностями і бінарними кодами навігаційного повідомлення. При цьому використовується метод так званої біфазної модуляції, що виявляється дуже зручним, оскільки вся передана у складі сигналу інформація представлена у вигляді бітової послідовності з одиниць і нулів. Коли кодовий сигнал змінює свій стан з 0 на 1 або навпаки, фаза стрибком змінюється на 180° і, отже, знак синуса змінюється на протилежний. Цей процес схематично ілюструє рис. 2.5.

Звернемося тепер до структури і змісту навігаційних повідомлень. Об'єм одного повідомлення складає 1500 біт. Кадр складається з 5 субкадрів (300 біт), що містять по 10 слів (30 біт). Неважко підрахувати, що при тактовій частоті 50 Гц час передачі кадру становить 30 секунд. Перші два слова кожного субкадру містять телеметричну і діагностичну інформацію.

Таблиця 2.2- Компоненти супутникового сигналу

Призначення	Коефіцієнт	Частота (МГц)
Базова частота	f_0	10,23
Несуча $L1$	$f_1 = f_0 \times 154$	1575,42
Несуча $L2$	$f_2 = f_0 \times 120$	1227,60
P -код	f_0	10,23
C/A -код	$f_0 / 10$	1,023
Навігаційне повідомлення	$f_0 / 204600$	$50 \cdot 10^{-6}$

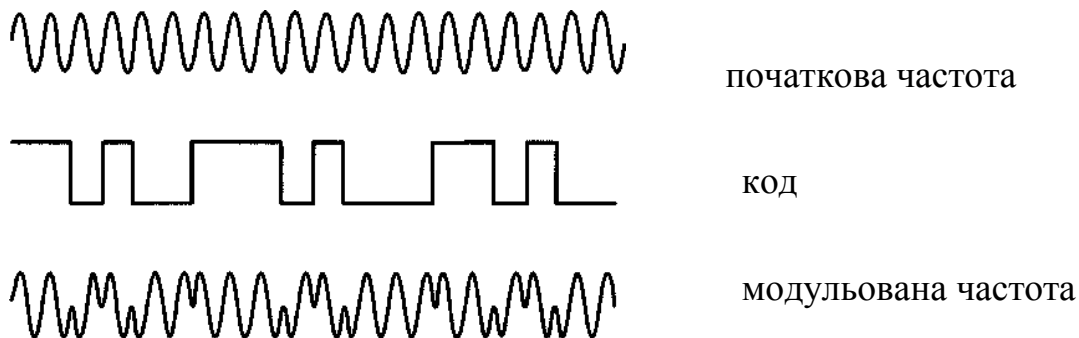


Рис. 2.5 - Схема біфазної модуляції

Основний зміст першого субкадру складає інформація про поправки годинника супутника, представленого у вигляді коефіцієнтів квадратичного полінома, а також зведення про технічний стан систем супутника. Другий і третій субкадри містять поточні значення Кеплерових елементів орбіти даного супутника, а також коефіцієнти поліномів і періодичних функцій, що описують зміни орбітальних елементів з часом.

Четвертий і п'ятий субкадри містять інформацію не тільки про даний супутник, а про всі супутники системи: наближені значення елементів їх орбіт, статус працездатності, поправки за вплив іоносфери і ін. Об'єм цієї інформації досить великий - в четвертому і п'ятому субкадрах укладається лише 1/25 її частина, тому вона передається порціями в послідовності з 25 кадрів. На їх передачу йде 12,5 хвилин. Стільки часу знадобитися приймачу для підготовчого етапу захоплення і ототожнення сигналів супутників.

2.6 Прийом і обробка сигналів

Послані з супутників сигнали несуть інформацію, необхідну для вимірювання відстаней і визначення навігаційних параметрів (координат, швидкостей і точного часу), але сам процес вимірювань відбувається в приймачі.

Антену приймача може бути суміщена з ним, або виконана у вигляді окремого виносного блоку. Фазовий центр антени і є тією точкою, від якої вимірюється відстань до супутника.

Оскільки всі супутники GPS передають сигнали на одній і тій же парі несучих частот, в приймач поступає суміш сигналів всіх супутників, що знаходяться над горизонтом. У процесі обробки прийнятих сигналів потрібно вирішити наступні завдання:

- виділити в потоці сигналів складові, що відносяться до конкретних супутників;
- розділити сигнали кожного супутника на кодову послідовність, навігаційне повідомлення і чисто синусоїдальну складову;
- визначити часове зрушення прийнятих сигналів по відношенню до опорного.

Точність вимірювання характеризується похибкою порядку 1° фази сигналу або 0,3 % тривалості періоду. Отже, для C/A-коду ця похибка становить близько 3 нс, а для P-коду - 0,3 нс, або, в перерахунку на псевдодальність, 1 м і 0,1 м.

У точних геодезичних приймачах реалізовано ще вимірювання фазового зсуву самої несучої частоти по відношенню до опорного сигналу. Оскільки періоди тих, що несуть в 154 і 120 разів коротше за тактові періоди кодових послідовностей, такі вимірювання дозволяють підвищити точність визначення псевдодальності до міліметрового рівня.

Обчислювальний пристрій приймача управляє його роботою по заданих програмах і проводить обробку кодових вимірювань. Поточні результати - координати і швидкість приймача, а також точний час, відображаються на табло і записуються в пристрій, що їх запам'ятовує.

Контрольні питання:

1. Призначення глобальних систем супутникового позиціонування.
2. Що лежить в основі вживаного в ГНСС GPS методу визначення місцеположення?
3. За допомогою яких хвиль проводяться вимірювання відстаней до супутників?
4. Які коди використовуються у глобальних системах супутникового позиціонування?
5. Структура і зміст навігаційних повідомлень.
6. Точність визначення координат системами супутникової навігації.

7. Чому необхідно використовувати спостереження мінімум чотирьох супутників.

8. Скільки часу знадобитися приймачу для підготовчого етапу захоплення і ототожнення сигналів супутників?

3 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ

3.1 Призначення геодезичних мереж

Високоточна геодезична мережа призначена для забезпечення практичних завдань:

- топографічної зйомки і оновлення планів всіх масштабів;
- землеустрою, межування, інвентаризації земель;
- топографо-геодезичних досліджень ;
- інженерно-геодезичної підготовки об'єктів будівництва;
- геодезичного вивчення геодинамічних природних і техногенних явищ;
- навігації наземного, повітряного, і водного транспорту.

3.2 Супутникові мережі

Таблиця 3.1 – Супутникові мережі

Тип мережі	Точність визначення координат, см	Відносна помилка визначення ліній не грубіше	Значення середніх похибок взаємного положення пунктів, мм
початковий пункт	1 – 2	1:1 000 000	–
каркасна мережа	1 – 2	1: 500 000	15
супутникова геодезична мережа 1 класу	1 – 2	1: 150 000	20
супутникова міська геодезична мережа 2 класу	1 – 2	1:150 000	–

Значення середніх похибок взаємного положення будь-яких пунктів супутникових геодезичних мереж не повинні перевищувати 30 мм.

Однорідна висока точність міських мереж досягається застосуванням обґрунтованих оптимальних методів супутникових спостережень і відповідних методів їх обробки, а також за рахунок використання оптимальної геометрії розташування пунктів, їх рівномірної щільності.

Один або декілька початкових пунктів створюються в містах площею не менше ніж 100 кв. км. з населенням не менше ніж 500 тисяч чоловік або пункти, що постійно діють, для навігаційних систем.

Супутникова геодезична мережа 2 класу створюється як виняток при необхідності створення геодезичного обґрунтування на окремих ділянках.. Загальна щільність закріпленого міського геодезичного обґрунтування повинна відповідати:

- щільно забудована територія не менше - 16 пунктів на 1 кв. км.
- слабо забудована територія не менше - 4 пункти на 1 кв. км.
- незабудована територія не менше - 1 пункт на 1 кв. км.

Оцінка точності вимірювань геодезичною супутниковою апаратурою виконується по замкнених фігурах (полігонах).

Допустима нев'язка приростів координат обчислювалася за такою формулою:

$$W_{f, \text{доп}} = [(m_{1, \text{доп}})^2 + (m_{2, \text{доп}})^2 + (m_{3, \text{доп}})^2]^{0.5}, \quad (3.1)$$

де $m_{i, \text{доп}}$ - допустимі значення похибок по сторонах трикутника.

Фактична нев'язність приростів координат розраховується за формулою:

$$W_f = [(W_{\Delta x})^2 + (W_{\Delta y})^2 + (W_{\Delta z})^2]^{0.5}, \quad (3.2)$$

де $W_{\Delta x}$, $W_{\Delta y}$, $W_{\Delta z}$ - нев'язність по осях координат.

При цьому допустима погрішність вимірювання довжини визначається з формули:

для ліній завдовжки менше 5 км

$$m_{\text{доп}} = (5 + 5 * 10^{-6} * D) \text{ мм}, \quad (3.3)$$

де D - вимірювана відстань в м.

Для ліній завдовжки більше 5 км використовується така формула:

$$m_{\text{доп}} = (5 + 1 * 10^{-6} * D) \text{ мм}. \quad (3.4)$$

3.3 Прив'язка початкового пункту до загальноземної геоцентричної системи координат

Необхідно мати у складі мережі хоч би один опорний пункт із задалегідь відомими значеннями геоцентричних координат. Таким пунктом є початковий. Оптимальним варіантом є наявність у складі мережі не менше трьох початкових пунктів.

Координати початкового пункту визначаються в геоцентричній системі координат (X,Y, Z).

Польові роботи за спостереженнями на початкових пунктах геодезичних мереж включають такі процеси:

- підготовка устаткування до роботи;
- установка станцій на пунктах спостережень, включення, ініціалізація;
- проведення супутникових спостережень;
- прийом і збереження даних спостережень;
- попередня обробка результатів спостережень.

Підготовка станцій для роботи на початкових пунктах виконується в такому порядку:

- розпакувати станцію;
- встановити центрувальний пристрій;
- встановити антенний блок, який може мати самостійну конструкцію або суміщений з приймачем. Біла риска (або інший показник) на бічній поверхні антенного блоку повинна бути орієнтована на північ;
- встановити реєструючий пристрій;
- виконати необхідні з'єднання компонентів станції;
- зміряти висоту антени над центром;
- включити приймач і завантажити програму спостережень;
- ввести назву пункту і висоту інструменту над центром;
- скласти картку супутникових спостережень.

Установка антени супутникового приймача над центром пункту здійснюється із застосуванням центріровочного пристрою.

Висота антени над маркою центру вимірюється двічі (до і після завершення сеансу спостережень) з точністю 1-2 мм.

3.4 Проведення супутникових спостережень

Супутникові спостереження на пунктах каркасної мережі виконуються мережним методом, з використанням статичного режиму і, як правило, одночасно на всіх пунктах каркасної мережі. Допускається виконання спостережень декількома зонами, що перекриваються, на які ділиться вся створювана каркасна мережа. Суміжні

зони повинні мати не менше 3 загальних пунктів і обов'язково включати один початковий пункт.

Програма супутникових спостережень повинна складатися із здвоєних, рівних за часом сеансів спостережень. Між сеансами спостережень обов'язкова повторна установка антени при зміні її висоти не менше чим на 10 см.

Час спостережень залежить від довжин сторін каркасної мережі (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Тривалість супутникових спостережень при створенні каркасних мереж

Довжина лінії, км.	Тривалість одного сеансу, год.
До 15	3
15-30	3-4
більше 30	не менше 4

Контрольні питання:

- 1. Призначення геодезичних мереж.*
- 2. Значення середніх похибок взаємного положення будь-яких пунктів супутникових геодезичних мереж.*
- 3. Які спостереження необхідні на початкових пунктах геодезичних мереж?*
- 4. Тривалість супутникових спостережень при створенні каркасних мереж.*

4 ВІМІРИ КУТІВ, ВІДСТАНЕЙ ТА ЇХ ПРИЛАДОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Пряма і зворотна геодезичні задачі

При виконанні гідрографічних інженерних робіт часто зустрічаються типові задачі – пряма і зворотна геодезичні задачі.

Пряма геодезична задача: обчислення координат другої точки по відомих координатах першої точки, відстані між цими точками і азимуту чи дирекційному куту (рис.4.1).

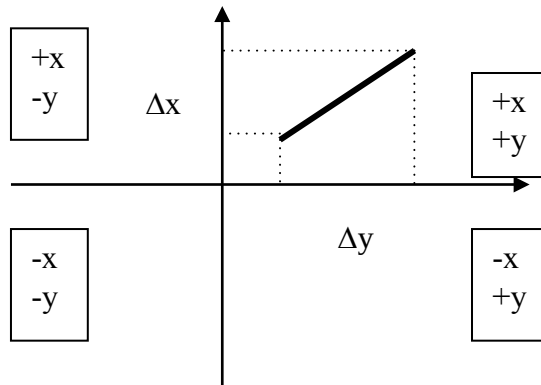


Рис.4.1- Система прямокутних координат, застосовувана в геодезії. В прямокутниках показані знаки для румбів

Для розв'язання цієї задачі користуються такими формулами.
У прямокутній системі координат:

$$\begin{aligned}x_2 &= x_1 + \Delta x \\ y_2 &= y_1 + \Delta y \\ \Delta x &= d \cos r \\ \Delta y &= d \sin r\end{aligned}\tag{4.1}$$

де d – відстань між точками, r - румб лінії.

Зворотна геодезична задача полягає в обчисленні по координатах кінцевих точок прямої лінії – її довжини й азимута (чи дирекційного кута). Нехай дані x_A, y_A, x_B, y_B (рис.4.1). Обчислити довжину d лінії АВ і її дирекційний кут.

Спочатку обчислимо прирости:

$$\Delta x = x_B - x_A; \quad \Delta y = y_B - y_A.\tag{4.2}$$

З формул (4.1) знайдемо

$$d = \Delta x / \cos r = \Delta y / \sin r\tag{4.3}$$

чи
$$d = \Delta x \sec r = \Delta y \operatorname{cosec} r .$$

Крім того, із прямокутного трикутника можна знайти

$$d=(\Delta x^2+\Delta y^2)^{1/2}. \quad (4.4)$$

Отже, відстань можна обчислити для контролю тричі. Але для обчислення d за формулою (3) необхідно знайти румб лінії АВ з формули:

$$\operatorname{tg} r = (y_B - y_A) / (x_B - x_A) = \Delta y / \Delta x. \quad (4.5)$$

Приклад 1. Розв'язання зворотної геодезичної задачі.

$$x_1 = +247,32 \text{ м}, y_1 = +870,54 \text{ м};$$

$$x_2 = +705,65 \text{ м}, y_2 = -567,83 \text{ м};$$

$$\operatorname{tg} r = -1438.37 / (+458.33) = -3.1383;$$

$$r = 72^\circ 19'.4.$$

Чисельник (Δy) дробу має знак мінус, а знаменник (Δx) – знак плюс. Отже, румб буде NW, а дирекційний кут

$$\alpha = 360^\circ - 72^\circ 19'.4 = 287^\circ 40'.6.$$

Знайдемо значення

$$\sin 72^\circ 19'.4 = 0.9528;$$

$$\cos 72^\circ 19'.4 = 0.3037;$$

$$d = (y_2 - y_1) / \sin r = 1438.37 / 0.95278 = 1509.65 \text{ м};$$

$$d = (x_2 - x_1) / \cos r = 458.33 / 0.30364 = 1509.78 \text{ м};$$

Розбіжність двох результатів 0,13 м і складає від усієї довжини 1/11600, що припустимо для теодолітних ходів. У протилежному випадку, необхідно обчислити довжину лінії третім способом чи обчислити значення синуса й косинуса з великим числом знаків.

У географічній системі координат:

$$\varphi_2 = \varphi_1 + PШ$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + PД, \quad (4.6)$$

де $PД$ і $PШ$ – різниця довгот і широт відповідно. Умовилися вважати N -ю широту і O -ю довготу позитивними, їм приписується знак +; S -ю широту і W -довготу вважають негативними. При такій умові, коли результати вирахування по формулах (4.6) будуть виходити позитивними, то варто

вважати $PШ$ до норду, а $РД$ до осту; коли ж результати будуть виходити негативними, то варто вважати: $PШ$ – до зюйду, а $РД$ – до весту.

Приклад 2. Пункт відходу $\varphi_1=41^{\circ}17' N$; $\lambda_1=3^{\circ}14' O$. Пункт приходу $\varphi_2=42^{\circ}28' N$; $\lambda_2=2^{\circ}50' W$.

$$\begin{array}{ll} \varphi_2=+42^{\circ}28' & \lambda_2=-2^{\circ}50' \\ \varphi_1=+41^{\circ}17' & \lambda_1=+3^{\circ}14' \\ \varphi_2 - \varphi_1=+1^{\circ}11' & \lambda_2 - \lambda_1=-6^{\circ}04' \\ PШ=1^{\circ}11' N; & РД=6^{\circ}04' W. \end{array}$$

Тими ж формулами користуються для знаходження широти і довготи пункту приходу (відходу) по заданій широті й довготі пункту відходу (приходу) і відомим $PШ$ і $РД$.

Приклад 3. Корабель вийшов з пункту $\varphi_1=56^{\circ}40'.2 N$; $\lambda_1=165^{\circ}28'.2 O$. Після переходу виявилось $PШ=14^{\circ}10'.4 S$ і $РД=20^{\circ}40'.2 O$. Знайти φ_2 і λ_2 за формулами (4.6):

$$\begin{array}{ll} \varphi_1=+56^{\circ}40'.2 & \lambda_1=+165^{\circ}28'.2 \\ PШ=-14^{\circ}10'.4 & РД=+20^{\circ}40'.2 \\ \varphi_2=74+42^{\circ}29'.8=42^{\circ}29'.8 N & \lambda_2=+186^{\circ}8'.4=173^{\circ}51'.6 W. \end{array}$$

4.2 Гірокомпас і супутниковий компас

ГІРОКОМПАС, прилад, що вказує напрям на земній поверхні; до його складу входить один або декілька гіроскопів. Використовується майже повсюдно в системах навігації і управління морських суден; на відміну від магнітного компаса його показання пов'язані з напрямом на дійсний географічний (а не магнітний) Північний полюс. Прототип сучасного гірокомпаса першим створив Г.Аншюц-Кемпфе (запатентований в 1908), незабаром подібний прилад побудував Е.Сперрі (запатентований в 1911). У подальші роки розроблялася безліч гірокомпасів різних модифікацій, але найбільш вдалі з них принципово майже не відрізнялися від пристроїв Аншюца і Сперрі. Прилади сучасної конструкції значно вдосконалені в порівнянні з першими моделями; вони відрізняються високою точністю і надійністю і зручніші в експлуатації.

У зв'язку з тривалим використанням гірокомпасу необхідно, щоб його висока точність залишалася незмінною протягом багатьох тижнів і навіть місяців. Тому він конструюється і виготовляється з дотриманням жорстких вимог по точності, а в процесі експлуатації підлягає ретельному періодичному обслуговуванню. Зазвичай гірокомпас застосовується як опорний навігаційний пристрій в суднових рульових системах з ручним або автоматичним управлінням, а також при вирішенні різних завдань

іншого роду. Морський гірокомпас, як правило, дуже важкий; у деяких конструкціях вага гіроскопічного ротора перевищує 25 кг. Для нормальної роботи гірокомпаса необхідна стійка основа, що не зазнає прискорень і фіксоване щодо земної поверхні, причому швидкість його переміщення повинна бути мала в порівнянні з швидкістю добового обертання Землі на даній широті. Ці умови не дотримуються на літаку, тому застосування гірокомпаса обмежене морськими суднами.

Принцип дії гірокомпаса можна описати за допомогою спрощеної схеми, наведеної на рисунку 4.2. Простий гірокомпас складається з гіроскопа, підвішеного всередині пологої кулі, яка плаває в рідині; вага кулі з гіроскопом така, що його центр тяжіння розташовується на осі кулі в його нижній частині, коли вісь обертання гіроскопа горизонтальна. Припустимо, що гірокомпас знаходиться на екваторі, а вісь обертання його гіроскопа співпадає з напрямом захід - схід (позиція а); вона зберігає свою орієнтацію в просторі за відсутності дії зовнішніх сил. Але Земля обертається, здійснюючи один оборот на добу.

Оскільки спостерігач, що знаходиться поряд, обертається разом з планетою, він бачить, як східний кінець (Е) осі гіроскопа піднімається, а західний (W) опускається; при цьому центр тяжіння кулі зміщується на схід і вгору (позиція б). Проте сила земного тяжіння перешкоджає такому зсуву центру тяжіння, і в результаті її дії вісь гіроскопа повертається так, щоб співпасти з віссю добового обертання Землі, тобто з напрямом північ - південь (цей обертальний рух осі гіроскопа під дією зовнішньої сили називається прецесією). Коли вісь гіроскопа співпадає з напрямом північ - південь (N - S, позиція в), центр тяжіння опиниться в нижньому положенні на вертикалі і причина прецесії зникне. Поставивши мітку «Північ» (N) на те місце кулі, в яке упирається відповідний кінець осі гіроскопа, отримують надійний компас. Дія гірокомпаса залежить від обертання Землі і особливостей взаємодії ротора гіроскопа з його підвісом.

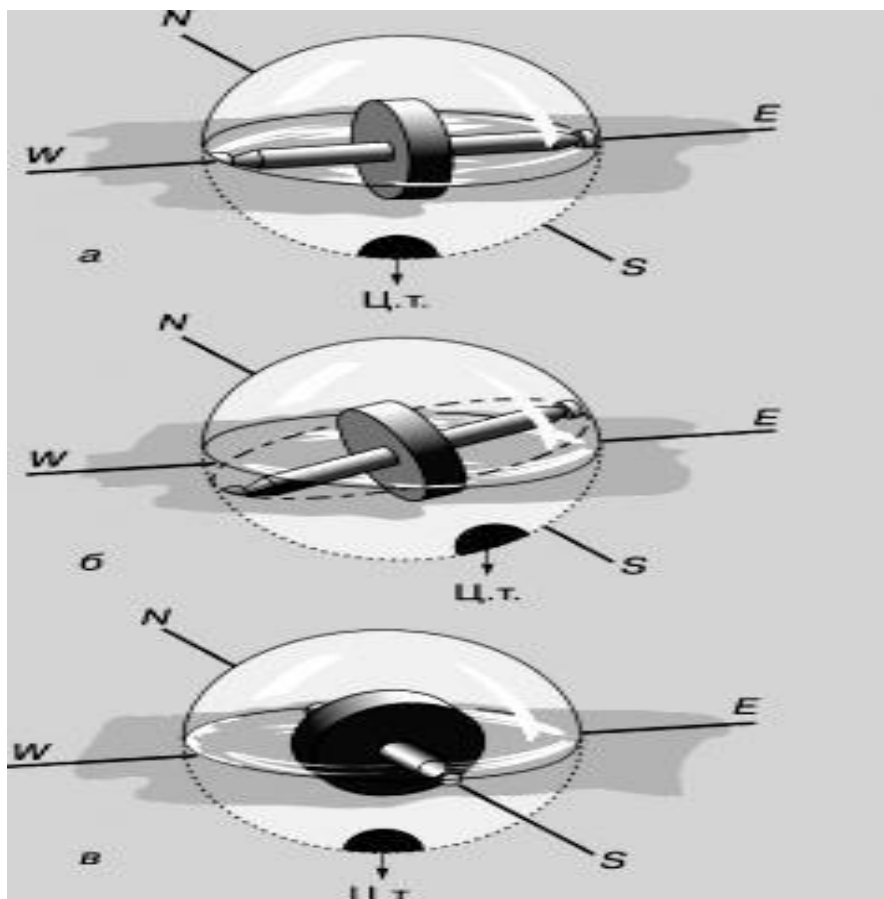


Рис. 4.2 – Схема пристрою гіроскопа

На рисунку 4.3 показаний гірокомпас російського виробництва МЕРИДІАН. Гірокомпас відповідає всім сучасним вимогам, в число яких висока точність при низькій вартості і універсальність системи. Завдяки невеликому розміру і часу входження в робочий режим - менше 45 хвилин, для використання "Меридіана" не існує обмежень за типом судів. Гірокомпас "Меридіан" може встановлюватися окремо або разом з різними репітерами і іншими пристроями, утворюючи єдину або здвоєну систему в повністю інтегрованому містку.

Зручність і простота установки гірокомпаса забезпечуються великим числом цифрових і аналогових виходів, цифровими режимами настройки і самотестування, що задаються з пульта управління.



Рис. 4.3 – Гірокомпас Меридіан

При судноводінні можуть використовуватися супутникові компаси (наприклад, виробництва фірми FURUNO).

На роботу супутникового компаса не впливають такі чинники, як швидкість судна, широта місцеположення, геомагнітні показники і так далі. Ця гібридна інтеграція GPS- приймача і 3-осьового датчика кута повороту забезпечує точні і стабільні показники напрямку руху навіть в тому випадку, якщо мости або високі будівлі блокують супутниковий сигнал. На відміну від звичайних магнітних і гіроскопічних компасів, точність свідчень не залежить від сили тяжіння або швидкості. Більш того, завдяки використанню додаткової третьої GPS-антени, цей пристрій гарантує підвищену точність при зниженні негативного впливу бортової і кільової хитами судна, а також рискання.



Рис.4.4 – Супутниковий компас. Модель: SC-50 Виробник : FURUNO

4.3 Лінійні виміри

Виміри довжин виконують прямим чи непрямим способом. Морська миля 1852 м, кабельтов 0,1 милі.

Прямі виміри виконують приладами для безпосереднього виміру: стрічок, рулеток, мірних дротів і довжиномерів. До них відносять також електричні методи за допомогою радіо- і світлодовжиномерів.

Непрямі визначення довжини проводяться нитяними і оптичними далекомірами і різними видами геодезичних засічок. Точність лінійних вимірів характеризується відносною погрішністю від 1:300 до 1:1000000 у залежності від вимог і методів провадження робіт.

4.3.1 Прилади для безпосередніх лінійних вимірів

Мірні стрічки бувають 20, 24 і 50 м довжини сталеві чи інварні. Припустиме відхилення довжини стрічки не повинна перевищувати 2 мм. Відлік з точністю 1 см.

Мірні дроти довжиною 24 і 48 м, діаметром 1.65 мм. Їхня довжина відрізняється від номінальної не більше ніж на 1 мм. На кінцях мірних дротів маються шкали довжиною 8 чи 10 см з міліметровими розподілами. Вимір дротами виконують у підвішеному стані за допомогою блоків і верстатів із противагами вагою 10-15 кг.

4.3.2 Вимірювання відстаней оптичними далекомірами

В оптичних далекомірах використовується принцип виміру відстані S по базисі l і паралактичному куту ε :

$$S = l/2 \operatorname{ctg}(\varepsilon/2). \quad (4.7)$$

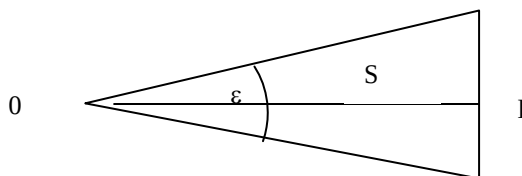


Рис. 4.5 – Паралактичний трикутник оптичного далекоміра

Базис і кут далекоміра можуть бути постійними і перемінними. У залежності від цього оптичні далекоміри підрозділяються на дві групи: з постійним паралактичним кутом і змінним базисом; з постійним базисом і

змінним кутом.

Нитяні далекоміри влаштовуються в зорових трубах тахеометрів, нівелірів. Вони належать до далекомірів з постійним паралактичним кутом і перемінним базисом.

У далекомірах подвійного зображення змінний кут задається за допомогою лінзових чи призмових компенсаторів, що перекривають половину поля зору зорової труби.

Точність виміру залежить від типу приладу. Коливається в значних межах. Наприклад, технічний теодоліт вимірює відстані з похибкою 10 см на один вимір. Спеціальні тахеометри і далекомірні насадки мають відносну похибку 1:1000 – 1:5000.

4.3.3 Вимірювання відстаней світло- і радіодалекомірами

Вимір відстаней світло- і радіодалекомірами заснований на визначенні проміжку часу τ , за який електромагнітні коливання (світло- чи радіохвилі) проходять відстань D у прямому і зворотному напрямках. При відомій швидкості v поширення електромагнітних хвиль в атмосфері шукана відстань визначається за формулою:

$$D = v\tau/2 = c\tau/2n, \quad (4.8)$$

де c – швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі, рівна 299 792,5 км/с;

n – показник заломлення повітря, що залежить від довжини хвилі і стану атмосфери (визначається по спеціальних таблицях).

Проміжок часу τ вимірюється фазовим методом: по числу u в відстані $2D$ модульованих хвиль. Якщо уклалося $N + \Delta N$ хвиль, де N – ціле число періодів коливань, то при довжині модульованої хвилі λ :

$$\tau = (N + \Delta N)(1/f), \quad (4.9)$$

де $f = v/\lambda$ – частота модуляції.

Вимірювана відстань:

$$D = (c/2fn)(N + \Delta N). \quad (4.10)$$

У вимірювану відстань вводяться виправлення за зміни показника переломлення атмосфери, постійну далекоміра, приведення лінії до обрію. Світлодалекоміри – це комплект приладів, основними з яких є електрооптичний прийомопередавач і відбивач, установлені на кінцях вимірюваної відстані. У комплект також входять: барометр, психрометр і інше приладдя. Точність виміру відстаней світлодалекомірами досягає 1: 800 000 чи 6 см на 50 км.

Радіодалекоміри – складаються з двох приймально-передавальних

радіо станцій, постачених пристроями для виміру часу проходження радіосигналів. Радіостанції розташовуються на кінцях вимірюваної відстані. Межі вимірів відстаней різними типами радіо станцій коливаються від 30 до 150 км. Точність вимірів у всіх типів радіо станцій відрізняється несуттєво і дорівнює приблизно $30+3D \cdot 10^{-6}$.

4.3.4 Метод засічок для визначення відстаней

Відстань від судна до берегових орієнтирів часто визначається методом засічок двома теодолітами розташованих на кінцях берегового базису (рис.4.6). Це відстань можна також визначити безпосередньо із судна. Для цього проводять засічки трьох берегових орієнтирів одночасно двома секстантами або пеленгаторами (визначаються два кути між трьома орієнтирами). Необхідно пам'ятати, що для визначення положення будь-якого орієнтиру будується трикутник. Для його вирішення по теоремі синусів досить знати в ньому два кути і одну сторону або дві сторони і один кут.

Відстані у відкритому морі визначаються по топографічних чи лоцманських картах, якщо відомі координати об'єктів, між якими проводяться виміри. Координати судна можна визначити за допомогою навігаційних і супутникових систем. По відомих координатах відстань між об'єктами можна розрахувати і без топографічних карт – з використанням комп'ютерних програм розрахунків, призначених для цих цілей.

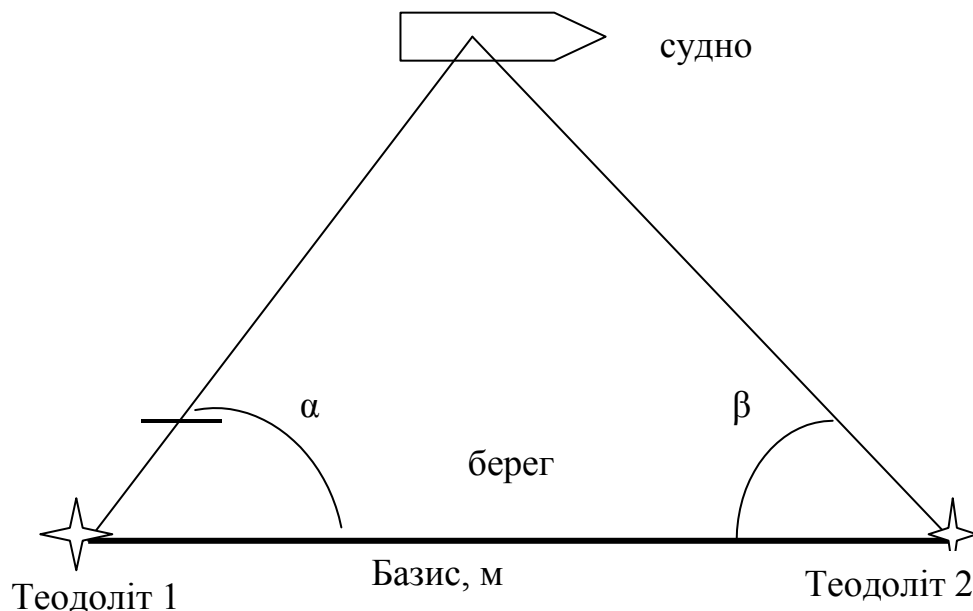


Рис. 4.6 – Засічки положення судна двома теодолітами

4.4 Кутові виміри

Кутові виміри на суші проводяться теодолітами. На судах – секстантами і пеленгаторами.

Секстант – кутомірний інструмент, що тримають під час вимірів у висячому положенні в руках, тим самим до деякої міри компенсують хитавицю судів. Кут між двома об'єктами вимірюється при сполученні прямого зображення одного об'єкта і відбитого в дзеркалі зображення другого об'єкта. Секстантом вимірюють горизонтальні кути між об'єктами на море чи на суші, а також вертикальні – між небесними об'єктами і лінією обрію.

Пеленгатор – вимірює азимут відлічуваний від щирого меридіана. Комбінується з гірокомпасом. Гіроскопічний компас служить для визначення щирого меридіана. Гірокомпасна установка, монтується усередині корабля в приміщенні яке називається гіропостом. Частиною гірокомпаса є гіроскоп – плоский диск із масивним ободом, називаний ротором. Ротор підвішений усередині камери компаса так, що він може обертатися навколо своєї осі симетрії, називаною головною віссю гірокомпаса. Головна вісь гірокомпаса може повертатися навколо своєї стрімкої лінії і, крім того, може відхилятися від площини обрію. Ротор обертається зі швидкістю кілька тисяч оборотів у хвилину в охолодженій до мінус 190^0 камері. Приблизно через 40 хвилин після запуску головна вісь гірокомпаса виявляється горизонтальною і розташованою у площині меридіана. Показання компаса за допомогою електричних проводів передаються репітерам (компасам – повторювачам), курсографам (прилади, що записують курс корабля у функції часу), пеленгаторам і іншим приладам.

Репітер постачаний оптичним окуляром для засічок орієнтирів на суші чи на море. Крім того, репітер має азимутальне коло для відлічування за допомогою пеленгатора курсових кутів. На палубі для пеленгування репітери встановлюються на підставках, називаних пелорус.

4.5 Вимір перевищень

4.5.1 Геометричне нівелювання

Проводиться нівелірами різних класів точності. Для нівелювання 1 і 2 класів застосовують нівеліри із середньої квадратичною погрішністю не більш 0,5 мм на 1 км подвійного ходу. Нівелювання 3 і 4 класів – не більш 3 мм.

4.5.2 Тригонометричне нівелювання

Засноване на вимірі кута нахилу і відстані до обумовленої точки. Застосовується при розбивних роботах по висоті, визначенні великих перевищень, виконавчих зйомках. Тригонометричне нівелювання виконується теодолітами-тахеометрами.

4.5.3 Гідростатичне нівелювання

Застосовується для точної установки будівельних конструкцій у проектне положення, при монтажі технологічних ліній великого протягу, виміру осад споруджень, передачі позначок через водні перешкоди. Його можна застосовувати в стиснутих умовах, відсутності прямої видимості між пунктами.

Принцип дії гідростатичних нівелірів: вільна поверхня рідини в сполучених посудинах (при відсутності капілярності) установлюється на одному рівні і нормально до напрямку сили ваги. Перевищення між двома точками визначається як різниця відліків по шкалах судин.

Довжина шланга в гідростатичних нівелірів 10-30 м. Межі вимірів перевищень 200 мм. Система приладів може заповнюватися дистильованою, кип'яченою водою чи ртуттю. Середня погрішність вимірів 0,6 мм. У Високоточних нівелірах поставлених мікрометренними гвинтами – 5-8 мкм. Можуть застосовуватися стаціонарні гідростатичні системи, що складаються з декількох водомірних судин, з'єднаних одним шлангом. Для фіксації рівня рідини в судинах можуть застосовуватися електроконтактний і фотоелектричний способи – звичайно для дистанційних вимірів.

4.5.4 Гідромеханічне нівелювання

Застосовується для виміру великих перевищень (3 – 5 м і більш). Гідромеханічне нівелювання засноване на вимірі надлишкового тиску чи вакууму, створюваного стовпом рідини в гідростатичній системі. На одній вимірюваній точці встановлюється манометр, на інший компенсатор. Між собою вони сполучаються гнучким шлангом. Точність визначення перевищень на одній станції 1 см. При застосуванні як робочої рідини ртуті у високочутливих манометрів точність визначення перевищень 4-5 мм.

4.5.5 Вимірювання перевищень лазерними приладами

Використовуються лазерні візирі і лазерні нівеліри. Зручні при установці будівельних конструкцій. Лазерні візирі створюють оптичний

промінь заданого напрямку. Оцінки точок уздовж лінії нівелювання визначають за допомогою відліків положення центра променя на рейці. Точність визначення перевищень 8 мм на відстані до 300 м. Можна виконувати також тригонометричне нівелювання. Кут нахилу при цьому визначають за шкалою мікрометреного гвинта.

За допомогою лазерних нівелірів створюється видима світна площина на проектній висоті. Їхня точність складає 2 мм до 60 м і 10 мм до 250 м. У прецизійних приладах точність 0,5 мм на відстані до декількох десятків метрів.

Контрольні питання:

1. У чому полягає пряма і зворотна геодезичні задачі?
2. Якою інформацією потрібно володіти для рішення прямої і зворотної геодезичних задач?
3. Відмінність показана гірокомпаса і магнітного компаса.
4. Якими приладами проводяться прямі і непрямі лінійні вимірювання?
5. Принцип дії оптичного далекоміра.
6. Принцип дії світлодалекомірів і радіодалекомірів.
7. Які прилади використовуються для кутових вимірювань?
8. Перелічіть різні види нівелювання і область їх застосування.

5 ПРИКЛАДНІ ЗАВДАННЯ МОРСЬКОЇ ГЕОДЕЗІЇ

5.1 Зближення меридіанів

Меридіани не паралельні один одному і тим більше, чим вони ближче до полюса землі.

Не паралельність меридіанів вимірюється кутом γ , названим кутом зближення меридіанів.

$$\gamma' = 0.54 D \operatorname{tg} B, \quad (5.1)$$

де λ - різниця довгот крайніх точок М і N лінії MN.

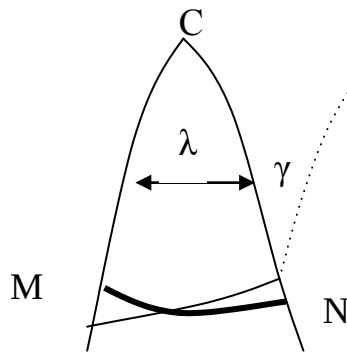


Рис.5.1 – Схема до обчислення зближення меридіанів

B – широта середньої точки P лінії MN .

D – лінійна відстань по паралелі, що проходить через середню точку P лінії MN (від меридіана точки M до меридіана точки N).

Якщо $D = 1$ км, то $\gamma' = 0.54 \operatorname{tg} B$, тобто зближення меридіанів на 1 км (у хвилинах) дорівнює половині тангенса широти місцевості.

На широті 55° при $D = 1$ км, $\gamma = 0,8'$.

З урахуванням зближення меридіанів залежність між прямим і зворотним азимутами лінії виражається:

$$\alpha_2 = \alpha_1 \pm 180 \pm \gamma \quad (5.2)$$

5.2 Дальність видимості предметів і вогнів

У відкритому морі спостерігач бачить навколо судна водяну поверхню обмежену колом. Це коло називається видимим обрієм спостерігача. Відстань D_e від місця судна до лінії видимого обрію називається дальністю видимого обрію. Теоретична дальність видимого обрію D_t залежить від радіуса Землі R і висоти ока спостерігача над рівнем води e :

$$D_t = \sqrt{2Re} . \quad (5.3)$$

Теоретична дальність видимого обрію завжди менше його дійсної дальності. Це пояснюється тим, що через різну щільність шарів атмосфери по висоті промінь світла поширюється не прямолінійно, а по кривій. У результаті спостерігач бачить додатково деяку частину водної поверхні,

розташовану за лінією теоретичного видимого обрію. Явище заломлення світлових променів в атмосфері називається земною рефракцією. Рефракція залежить від атмосферного тиску, температури й вологості повітря. У тому самому місці Землі рефракція може змінюватися навіть протягом доби. Тому при розрахунках беруть середнє значення рефракції. У середньому рефракція збільшує дальність видимого обрію на 8%. Підставивши у формулу (5.3) R і e у метрах, зробимо перетворення, у результаті яких одержимо D_e у морських милях:

$$D_e = 1.08 \sqrt{\frac{2 \cdot 6371110}{1852 \cdot 1852}} e, \text{ чи } D_e = 2.08 \sqrt{e}. \quad (5.4)$$

Дальність видимого обрію дозволяє судити про видимість предметів, що знаходяться на рівні води. Якщо предмет має висоту h над рівнем моря, то спостерігач може знайти його на відстані, що перевищує D_e . Отже, гранична дальність залежить як від e , так і від h :

$$D_n = D_e + D_h, \text{ чи } D_n = 2.08 (e^{0.5} + h^{0.5}), \quad (5.5)$$

де e – висота ока спостерігача над рівнем води, м;

h – висота предмета над рівнем моря, м;

D_n – відстань від місця судна до лінії видимого обрію.

На морських картах і в навігаційних посібниках наводиться заздалегідь обчислена дальність видимості вогнів маяків D_k з висоти ока спостерігача 5 м. З такої висоти D_e дорівнює 4,7 милі. При e , відмінній від 5 м, у D_k варто вводити виправлення:

$$D_n = D_k + 2.08 e^{0.5} - 4.7. \quad (5.6)$$

5.3 Теорія створів. Чутливість створу

Створом називається така позиція двох орієнтирів, коли вони знаходяться в одній і тій же вертикальній площині.

Розрізняють наступні елементи створу (рис 5.2): передній знак A_1 ; задній знак A_2 ; рознос знаків чи відстань між знаками d . Лінія створу поділяється на ходову частину створу, по якій можуть ходити суда, і неходову частину створу, недоступну для проходу суден.

Нехай спостерігач знаходиться в точці P в відстані D від переднього знака A_1 . Знаки, що спостерігаються із судна неозброєним зором, по фізіологічних властивостях ока здаються спостерігачу що злилися навіть тоді, коли спостерігач відхилився від осі створу. Як установлено досвідом, знаки будуть здаватися спостерігачу роздільно лише з того моменту, коли

кут між ними виявиться більше 1'.

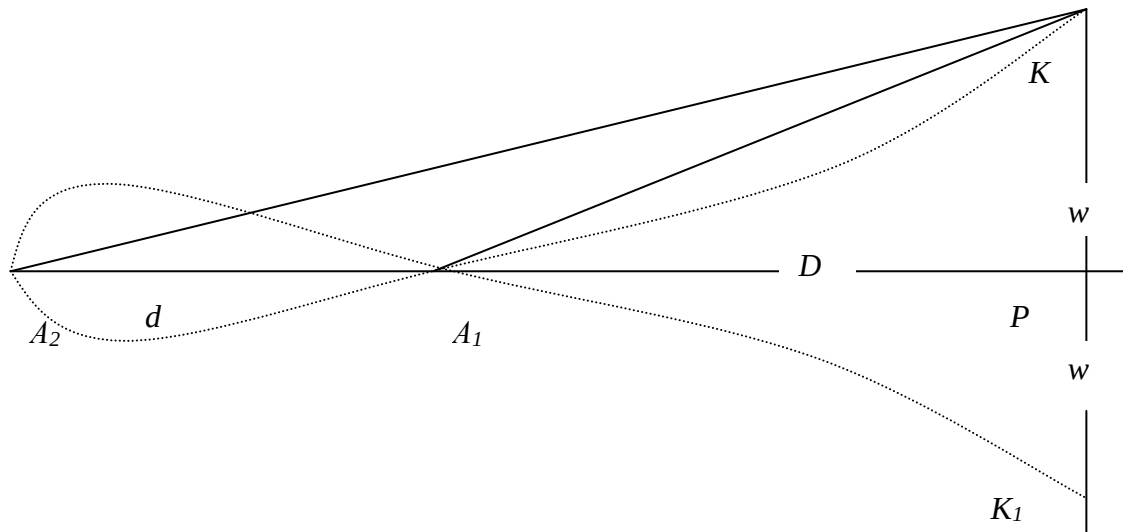


Рис. 5.2 – Елементи створу

Для спостерігача, що знаходиться в точці P на осі створу, створні знаки будуть здаватися що сполученими. Але вони будуть здаватися що сполученими також і в тому випадку, якщо спостерігач стане переміщатися уздовж перпендикуляра до осі створу $PK=w$, поки кут у точці K не досягне 1'.

Величина відхилення від осі створу, протягом якої створні знаки представляються спостерігачу, називають лінійною чутливістю створу. Її величину визначають з формули:

$$w = \frac{D(D + d)}{d} \arctg 1'. \quad (5.7)$$

При постійній величині d зі зростанням D буде збільшуватися і w , тобто на далекій відстані всякий створ буде менш чуттєвим, чим на близькому. Отже, вигідніше користатися створами, знаходячись можливо ближче до переднього знака створу.

При постійній величині D величина w буде виходити тим меншою, чим більше рознос знаків d . Тому для збільшення чутливості створів при їхній побудові відстань між створними знаками роблять якнайбільше. Наприклад, для відстані $D=80$ каб. від переднього маяка лінійна чутливість створу:

$$\text{при } d=1.2 \text{ каб.} \quad w = \frac{80(80+1.2)}{1.2 * 3438} 185.2 = 278, \text{ м} \quad (5.8)$$

$$\text{при } d=13.2 \text{ каб.} \quad w = \frac{80(80+13.2)}{13.2 * 3438} 185.2 = 30, \text{ м} \quad (5.9)$$

Для різних відстаней D при однакових d виходять криві (дуги окружностей), називані дугами візирних окружностей. Частина земної поверхні, обмежена дугами візирних окружностей, одержала назву створного проміжку. Спостерігачі, що знаходяться усередині створного проміжку, не можуть оцінювати величину, на яку вони ухилилися від створу, тому що обоє створні знаки представляються їм сполученими.

Розміри створних знаків. Позначимо ν – кут, що представляє найбільшу помилку, яку можна допустити в напрямку створу. Припустимо, що створні знаки являють собою щити шириною $2b_1$ – передній і $2b_2$ – задній. Помилка напрямку створу:

$$\nu = \frac{b_1 + b_2}{d * \arctg 1'} \quad (5.10)$$

Формула показує, що помилка в напрямку створу прямо пропорційна сумі півширини створних знаків і пропорційна величині розносу знаків. Для зменшення помилки необхідно щити створних знаків робити якомога вузкими і намагатися збільшити рознос знаків. З огляду на ці вимоги, на щиті створних знаків посередині нафарбовується вертикальна чорна чи червона смуга. При підході судна до створу, коли він знаходиться ще на великій відстані від знаків, спочатку лягають на створ знаків. Після того, коли судно наблизиться настільки, що смуги на знаках стануть видні, починають керуватися створом смуг на щитах. З тієї же причини щити знаків часто роблять у формі трикутників.

Напрямок усякого створу в градусах, що поміщається на навігаційних картах і лоціях, відноситься до середини ходової частини створу і являє собою істинний пеленг створу. Напрямок створу позначають двома числами: перше число означає істинний пеленг створу, рахований з берега в море, а друге - з моря на берег.

5.4 Організація гідрометричних робіт при експлуатації судноплавних каналів

Будівництво та використання каналів пов'язані з необхідністю володіння великою кількістю гідрометричної інформації, як оперативної так і режимної, яка є результатом діяльності різних відомств та

підприємств.

При експлуатації каналів використовуються результати таких видів гідрометричних робіт:

- промірні роботи;
- вивчення донних наносів;
- вимірювання напрямку та швидкості течій;
спостереження за рівнями моря;
- спостереження хвилюванням моря;
- спостереження за льодовим режимом моря.

Основну частину оперативних гідрометричних робіт з вимірювання напрямку та швидкості течій, спостереження за рівнями моря, спостереження хвилюванням моря, спостереження за льодовим режимом моря виконує Гідрометеорологічна служба України. Ці дані без затримок надаються до служб експлуатуючих канал та безпосередньо використовуються для забезпечення безпеки мореплавства. Інші організації виконують в основному режимні гідрометричні спостереження вказаних видів, результати яких, разом з даними Гідрометеорологічної служби, використовуються для розробки різних посібників, керівництв та науково-технічних проектів.

В даній час в Україні виділено два види промірних робіт - це промірні роботи з навігаційною та будівельно-експлуатаційною метою. Промірні роботи з навігаційною метою виконуються підрозділами Державної установи "Держгідрографія" з метою складання і коректури морських навігаційних карт і оперативного оповіщення мореплавців про виявлені навігаційні небезпеки. Обсяги та райони такого виду робіт щорічно визначаються Планом навігаційно-гідрографічного забезпечення безпеки мореплавства у водах України, який складається згідно з вимогами керівних документів "Держгідрографія" та результатами попередніх досліджень. Згідно з вказаними керівними документами контрольні проміри каналів та акваторій портів з навігаційною метою виконуються не рідше одного разу на рік. У випадку, якщо по даним контрольного проміру на окремих ділянках каналу буде виявлено значні зміни глибин або значні зміни положення осі каналу або його бровок, то на цих ділянках виконують докладний промір або докладне обстеження за допомогою багатопромених ехолотів, ехотралів або гідрографічних тралів.

Основним керівним технічним документом, який безпосередньо визначає методи і способі проведення промірних та деяких інших видів робіт, що виконуються з навігаційною метою, та обробки їх матеріалів є "Інструкція щодо вимог і методів зйомки рельєфу дна для навігаційних цілей", вид. Державної установи "Держгідрографія" 2006 р.

Матеріали промірних робіт з навігаційною метою передаються в ДУ "Держгідрографія" де використовуються для складання і коректури морських навігаційних карт. У випадках виявлення навігаційних небезпек

інформація про їх наявність оперативно доводиться до мореплавців за допомогою прибережних попереджень та повідомлень мореплавцям.

Промірні роботи з будівельно-експлуатаційною метою виконуються для виявлення стану габаритів судноплавних морських шляхів та гідротехнічних споруд, визначення обсягів запланованих і виконаних днопоглиблювальних робіт, виявлення величин та інтенсивності замулення на судноплавних шляхах, забезпечення проектних робіт з будівництва або реконструкції гідротехнічних споруд відповідними матеріалами.

Згідно з наказом № 463 від 12.05.06 технічний нагляд за виконанням промірних робіт з будівельно-експлуатаційною метою здійснює Регістр судноплавства України. Виконують цей вид промірних робіт підприємства та організації, що мають Свідоцтво про визнання, яке видається Регістром судноплавства, за наявності в них сучасного промірного обладнання програмного забезпечення, досвіду виконання промірів, кваліфікованого персоналу.

Основним керівним документом який визначає технічний та технологічний порядок, технологічні способи проведення промірних робіт з будівельно-експлуатаційною метою, нормативні вимоги щодо точності та строків їх виконання при здійсненні днопоглиблювальних робіт та контролю стану акваторій портів, габаритів морських каналів, фарватерів є "Інструкція про порядок і процедуру виконання промірних робіт при визначенні глибин на морських і річкових акваторіях для будівельно-експлуатаційних цілей".

Строки проведення промірів акваторій, каналів та судноплавних шляхів встановлюються експлуатуючими організаціям на підставі таблиці 5.1.

Матеріали промірних робіт з будівельно-експлуатаційною метою надаються до Регістру судноплавства України, який здійснює оцінку їх якості, та на підставі матеріалів робіт оформлює "Свідоцтво про відповідність глибин на акваторії (підхідному каналі), судноплавному шляху". Після чого матеріали робіт разом з Свідоцтвом передаються експлуатуючій організації.

Таким чином основними видами промірних робіт що забезпечують безпеку мореплавства по каналам є докладний та контрольні проміри акваторії каналу з будівельно-експлуатаційною метою, які дозволяють оперативно визначати фактичні габарити каналу, величини та інтенсивність його замулення.

Таблиця 5.1. – Строки проведення промірних робіт з будівельно-експлуатаційною метою

Об'єкт	Середня величина замулення на рік, м		
	Менш 0.3	більш 0.3	замулення вид штормових явищ
Приймально-здавальний промір попередній			
Всі об'єкти дно поглиб-лювальних робіт	Не раніше 10 діб до початку робіт	Не раніше 5 діб до початку робіт	Не пізніше 3 діб після закінчення шторму
Приймально-здавальний промір виконавчий			
Всі об'єкти дно поглиб-лювальних робіт	Не пізніше 10 діб після закінчення робіт на кожному промірному профілі, ділянки, що здається	Не пізніше 5 діб після закінчення робіт на кожному промірному профілі, ділянки, що здається	Не пізніше 3 діб після закінчення шторму
Докладний промір			
Усі судноплавні об'єкти морських шляхів, відвали ґрунту	Не рідше 1 разу на рік	Не рідше 2 разів на рік	–
Контрольний промір			
Усі судноплавні об'єкти морських шляхів, відвали ґрунту	Не рідше 2 разів на рік	Не рідше 3 разів на рік	–
Ділянки каналів, фарватерів, суднових ходів, що лімітують	Не менш ніж 90 діб між промірами	Не менш ніж 30 діб між промірами	Після закінчення шторму
Відвали (звалища) ґрунту	У міру необхідності, але не рідше 1 разу на рік	У міру необхідності, але не рідше 1 разу на рік	–
Контроль роботи земснаряда	Через кожні 5 діб	Через кожні 5 діб	–

5.4.1 Промірні роботи

Докладний промір виконується для визначення стану габаритів каналу та величини та інтенсивності замулення каналу. Контрольний промір повинен виконуватися для виявлення ділянок каналу що лімітують та одержання оперативних відомостей про зміни його габаритів.

В даний час для виконання промірів, у відповідності з вимогами Регістру судноплавства, використовуються автоматизовані гідрографічні комплекси (АГК) до складу яких входять:

- гідрографічний ехолот;
- апаратура споживачів супутникових навігаційних систем (АС СНС);
- портативний комп'ютер;
- гідрографічне програмне забезпечення.

Під час виконання робіт АГК виконує такі функції:

- збір даних від судових датчиків;
- промір глибин;
- оцінку вірогідності і повноти інформації, що надходить;
- обчислення поточних координат положення промірного судна на ділянці проміру;
- прив'язку координат до глибин і часу;
- відображення на дисплеї операторської станції (монітор) ехограми промірів, лінії руху судна при промірах тощо;
- реєстрацію інформації на носіях (магнітному диску);
- сигналізацію про відмови в роботі технічних і програмних засобів системи.

Після закінчення робіт гідрографічне програмне забезпечення зі складу АГК, як правило дозволяє виконати повний комплекс робіт з обробки матеріалів зйомки у тому числі:

- перевірку польових матеріалів;
- обробку тарувань ехолотів і спостережень за рівнем моря;
- попередню обробку ехограм промірів (визначення і видалення недостовірних глибин і навігаційних даних);
- остаточну обробку ехограм промірів (виправлення глибин поправками за результатами тарування і спостережень за рівнем моря);
- відбір глибин;
- складання і оформлення звітних планів промірів;
- визначення величини, інтенсивності замулення каналу та обсягів днопоглиблювальних робіт.

Виконання промірних робіт складається з трьох основних етапів:

1. Підготовка к проведенню зйомки
2. Виконання зйомки
3. Обробка матеріалів зйомки

5.4.2 Підготовка до проведення зйомки

Підготовка к проведенню зйомки включає:

- вибір докладності зйомки, складання файлів габаритів каналу, розташування систем основних та контрольних галсів, введення цих даних до гідрографічного програмного забезпечення;
- встановлення приладів комплексу на гідрографічному судні, та підготовка їх до роботи;
- організація обліку та збереження матеріалів промірів;
- забезпечення зйомки плановою та висотною основами.

Розглянемо етапи підготовки до виконання зйомки більш докладно.

В якості планової основи промірів каналів використовуються пункти Державної геодезичної мережі та Геодезичної мережі згущення. Як опорні пункти в опорну геодезичну мережу включаються добре видимі з місця проведення проміру навігаційні орієнтири (навігаційні знаки, вежі, маяки, шпиль, труби) та пункти, які використовуються для контролю роботи АС СНС, розташовані неподалік від місця базування суден.

Середня квадратична похибка визначення планового положення точок проміру глибин у масштабі планшета (плану) не повинна перевищувати:

- для докладного проміру - 1,0 мм;
- для контрольного проміру - 2,0-3,0 мм.

При виконанні промірів використовується система координат WGS-84. При виконанні зйомки перш за все визначається докладність проміру. Докладність проміру - це відстань між промірними галсами при вимірюванні глибин однопроменевими ехолотами. Докладність проміру повинна забезпечувати рівномірне покриття промірами всієї ділянки робіт, виявляти характер рельєфу дна, укосів і брівок каналу. При виконанні промірів з будівельно-експлуатаційною метою гранична докладність проміру приймається відповідно до таблиці, наведеної у таблиці 5.2.

Довжина промірних галсів визначається з урахуванням необхідності вимірювання глибин по всій ширині каналу і за його межами. Контрольні галси при докладному промірі прокладаються уздовж осей та бровок каналу.

Дані про габарити каналу вводяться до програмного забезпечення, шляхом введення координат точок початку та кінця осей та бровок колін каналу.

Ведення схем розташування галсів до програмного забезпечення здійснюється за допомогою вбудованих програмних модулів. Перевагою модулів для складання схем розташування промірних галсів є те, що ці модулі дозволяють автоматично створювати шаблони для наступного розрахунку об'ємів днопоглиблювальних робіт.

Таблиця 5.2 – Гранична докладність проміру

Об'єкт	Приймально-здавальний		Докладний		Контрольний	
	Відстань між, м					
	Промірними профілями	Точками на промірному галсі	Промірними профілями	Точкам и на промірному галсі	Промірними профілями	Точка-ми на промір-ному галсі
Судноплавн і канали:						
Ложе	50-100	10	50-100	10	100-500	10
Бічні укоси	50-100	2.5-5.0	50-100	5	100-500	10
Фарватери, рельєф:						
Плавний	100	10	200-500	10	200-500	10
Складний	50	5	50-100	5	100-200	10
Акваторія порту, Причали на відстані від стінки споруди:						
До 5 м	10	1,0	20	1,0	20-40	5
5-10 м	10	2,5	20	2,5	20-40	5
10-20 м	10	5,0	20	5,0	20-40	10
20 і більш	10	10,0	20	10,0	20-40	10
Гавані і аквапорти:						
Плавний рельєф	50	10,0	50	10,0	40	10
Складний рельєф	20	2,5	20	2,5	40	5

Після підготовки гідрографічного програмного забезпечення виконується встановлення приладів комплексу на гідрографічному судні у складі:

- ехолот з навісним вібратором;
- навігаційний приймач АС СНС;
- програмне забезпечення;
- пристрої для тарування навісних вібраторів.

У першу чергу встановлюється вібратор ехолота, який закріплюється на вертикальний штанзі, встановлений на борту судна. Вібратор

встановлюється з заглибленням безпечним до таких видів робіт з урахуванням осадки промірного судна. Зверху на штангу встановлюється антена АС СНС, що виключає похибки за розміщення цих приладів. У випадку, якщо таке встановлення неможливе то в гідрографічне програмне забезпечення вносяться поправки взаємного розташування антени АС СНС та вібратора ехолота в подовжній та діаметральній площинах судна. Після чого виконується встановлення іншого обладнання на судні, його підключення, перевірка працездатності та запису даних в пам'ять комп'ютера.

Слід зазначити що у відповідності з вимогами Регістра судноплавства усі приймачі супутникових навігаційних систем та гідрографічні ехолоти, що використовуються при виконанні промірних робіт з будівельно-експлуатаційною метою повинні пройти метрологічну перевірку, результати якої оформлюються відповідним свідоцтвом. Для пристроїв для тарування перед початком робіт, з використанням компаратора, слід визначити поправки, які необхідно враховувати у подальшому при обробці матеріалів робіт.

5.4.3 Виконання зйомки

При виконанні докладних та контрольних промірів каналу прокладка галсів проміру виконується в програмному забезпеченні запланованим галсам основного та контрольного покриття на електронні морські навігаційні карти. Визначення місця на промірних галсах виконується з використанням АС СНС у диференціальному режимі роботи, при цьому середня квадратична похибка визначення місця не перевищує $\pm 1,0$ м. Частота визначення місця складає 1 раз в секунду.

Глибини при виконанні промірів визначаються з використанням ехолота. Точність вимірювання глибин становить не менше $\pm 0,10$ м.

Усі дані від навігаційного приймача і ехолота поступають в програмне забезпечення і записуються в пам'ять комп'ютера для подальшої їх обробки.

Під час виконання робіт обов'язково здійснюється постійний контроль за роботою та технічним станом усіх систем та приладів, особлива увага звертається на якість реєстрації глибин на ехограмах ехолотів та роботу НАС СНС.

Для забезпечення високої якості робіт та виключення помилок в матеріалах робіт щодня виконуються такі процедури з контролю обладнання:

- до початку робіт здійснюється контроль правильності роботи АС СНС в диференціальному режимі на пунктах державної геодезичної мережі

або геодезичної мережі згущення, що розташовані біля міст базування суден. У випадку суттєвих розбіжностей між показаннями АС СНС та фактичними координатами пункту (більш ніж $\pm 1,0$ м) виконання робіт відкладається до з'ясування причин, що викликали розбіжності;

- визначається поправка, яка компенсує часову затримку надходження даних від АС СНС та ехолота. Для цього виконується проходження по одному галсу у різних напрямках зі швидкістю, з якою виконується промір. Після чого за допомогою програмного модуля зі складу програмного забезпечення визначається вказана поправка. Поправка вводиться в АГК до початку робіт або в дані проміру після закінчення робіт;

- для визначення сумарної поправки ехолота за швидкість звуку та заглиблення вібратора виконується тарування ехолоту в районі робіт, на стандартних горизонтах 2, 3, 4, 5, 7, 10 м.

5.4.4 Обробка матеріалів зйомки

Обробка матеріалів робіт, складання і оформлення звітних планів виконуються з використанням програмного забезпечення и включають:

- перевірку польових матеріалів;
- обробку тарувань ехолотів і спостережень за рівнем моря;
- попередню обробку ехограм промірів (визначення і видалення недостовірних глибин і навігаційних даних);
- остаточну обробку ехограм промірів (виправлення глибин поправками по результатам тарування і спостережень за рівнем моря);
- відбір глибин для складання планів проміру каналу;
- складання і оформлення звітних планів промірів.

Перевірка матеріалів робіт перед початком їх обробки виконується для виявлення грубих помилок, відступів від вимог керівних документів та перевірки повноти виконання робіт. Це дає можливість своєчасно виявити недоліки матеріалів робіт та прийняти заходи для їх усунення.

При обробці тарувань ехолотів визначаються поправки вимірних ехолотом глибин за швидкість звуку та заглиблення вібратора. При обробці спостережень за рівнем моря визначаються поправки вимірних ехолотом глибин за перевищення фактичного рівня моря над прийнятим нулем глибин. Після визначення поправок, за допомогою програмних модулів, зі складу програмного забезпечення, складаються файли розподілу поправок по глибині та часу.

При попередній обробці ехограм промірів виконується визначення і видалення недостовірних глибин і навігаційних даних. Після чого здійснюється введення в дані проміру поправок за тарування та рівень моря, таким чином виконується остаточна обробка ехограм промірів.

Відбір глибин виконується згідно з вимогами до докладності виконання промірів та технічним завданням на виконання робіт. Для відбору глибин для кожного коліна будується матриця, для кожної комірки якої відбирається найближча глибина, це дозволяє отримати глибини, розташовані точно на бровках та осі каналу, що значно спрощує аналіз матеріалів промірів, але не забезпечує відображення на плані мінімальних виявлених проміром глибин.

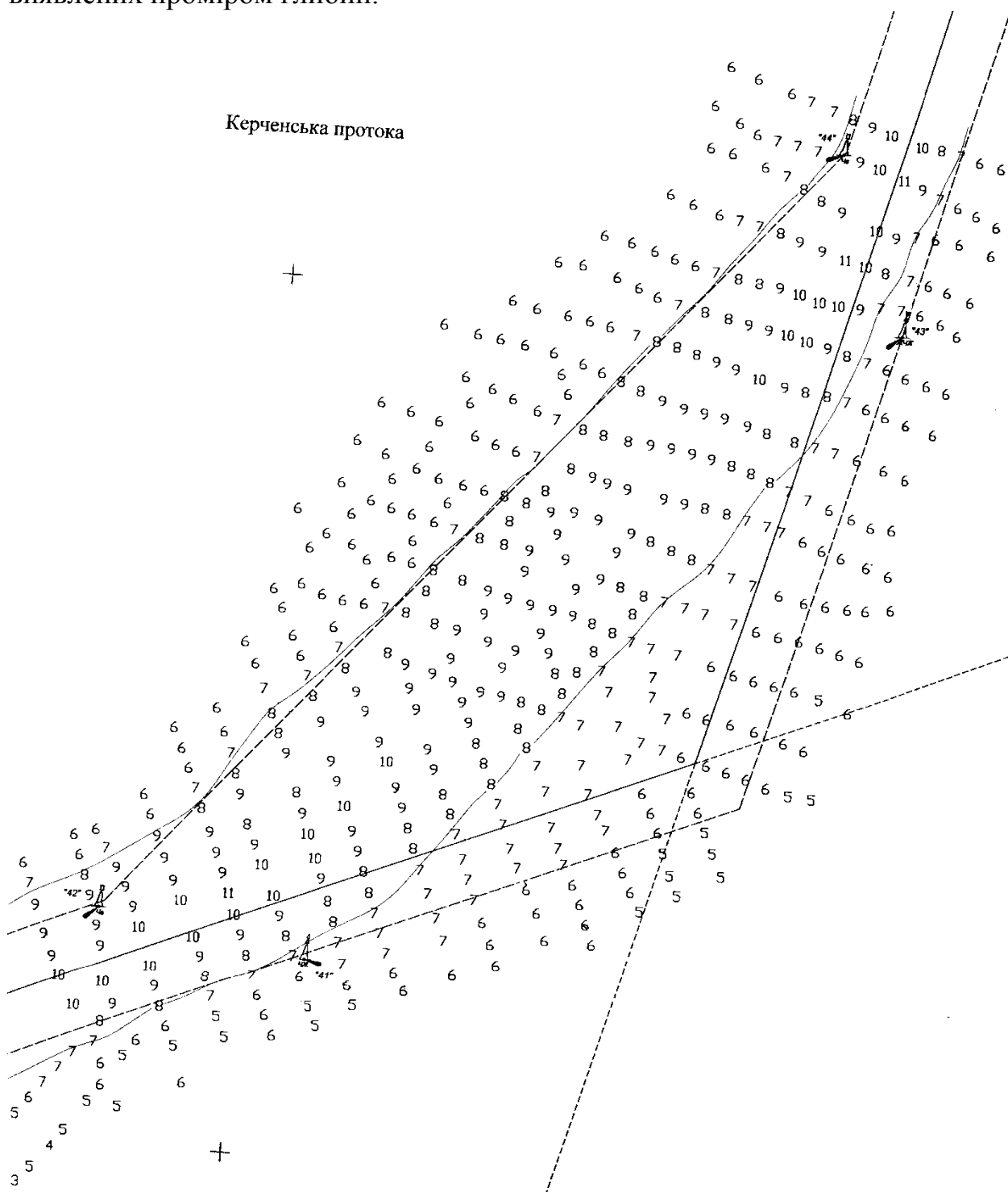


Рис. 5.3 – Фрагмент планшету докладного проміру каналу Керч-Єні-Кале

Звітні планів промірів каналу строяться на одному аркуші паперу, без збереження прив'язки до системи координат і проекції, та у зв'язку з великою їх довжиною, в двох масштабах: горизонтальному 1:10000, та вертикальному 1:2000. Фрагмент планшету промірів приведений на рис.5.3.

5.5 Виконання промірних робіт з навігаційною метою

Контрольні проміри каналів та акваторій портів з навігаційною метою виконуються не рідше одного разу на рік. У випадку, якщо по даним контрольного проміру на окремих ділянках каналу буде виявлено значні зміни глибин або значні зміни положення осі каналу або його бровок, то на цих ділянках виконують докладний промір або докладне обстеження за допомогою багатопроменевих ехолотів, ехотралів або гідрографічних тралів.

Способи виконання та обробки матеріалів контрольних (у разі необхідності докладних) промірів з навігаційною метою відрізняються від виконання відповідних видів промірів з будівельно-експлуатаційною метою тільки методами сортування глибин, складання та оформлення звітних планшетів. В цьому випадку використовуються такі методи сортування глибин виміряних ехолотом та виправлених поправками, які забезпечують виявлення мінімальних глибин обстежених при виконанні проміру.

При виконанні промірних робіт з навігаційною метою у якості звітних матеріалів складаються планшети промірів, які будуються з прив'язкою глибин та іншої обстановки, показаної на планшеті, до необхідної системи координат та проекції.

Зовсім інші методи та способи виконання робіт використовуються при необхідності виконання докладного обстеження за допомогою багатопроменевих ехолотів, ехотралів або гідрографічних тралів.

Розглянемо найбільш сучасний та ефективний з вказаних методів площинне обстеження за допомогою багатопроменевого ехолоту.

Перед початком робіт, при встановленні багатопроменевого ехолоту на судні, визначають параметри та виконують тести з визначення поправок встановлення багатопроменевого ехолоту: на бортову та кильову хитавицю, вертикальні переміщення та часову затримку надходження даних від АС СНС та ехолота. Усі поправки повинні бути введені до багатопроменевого ехолота до початку робіт. Крім того проводять тест контролю якості промірного комплексу, результати якого використовуються при визначенні

кількості променів.

При проведенні робіт постійно, з використанням програмного забезпечення, виконується контроль повноти покриття обстежуваної акваторії. При виявленні необстеженої ділянки додаткові галси обстеження, для забезпечення повного покриття району робіт, прокладаються у той же день або при подальших виходах на роботи.

Для визначення виправок багатопроменевого ехолоту на швидкість звуку постійно перед початком робіт або при зміні району робіт виконуються виміри швидкості звуку у воді за допомогою гідрологічного зонду. Дані від зонду вводяться до багатопроменевого ехолоту безпосередньо до початку робіт.

Для подальшого визначення поправок глибин на рівень збираються щогодинні дані про миттєві рівні моря з гідрометеорологічних станцій.

Обробка матеріалів польових робіт включає:

- перевірку польових матеріалів (правильність введення параметрів та виправлень встановлення БПЕ, відсутність збоїв у роботі АС СНС та датчика руху, обробку спостережень за рівнем моря та введення поправок на рівень у дані обстеження);
- фільтрацію недостовірних глибин та глибин, визначених за допомогою лучів, що не приймаються у обробку, за допомогою фільтрів зі складу програмного забезпечення;
- ручну обробку глибин;
- сортування глибин;
- складання, оформлення звітних планшетів обстеження та пояснювальної записки.

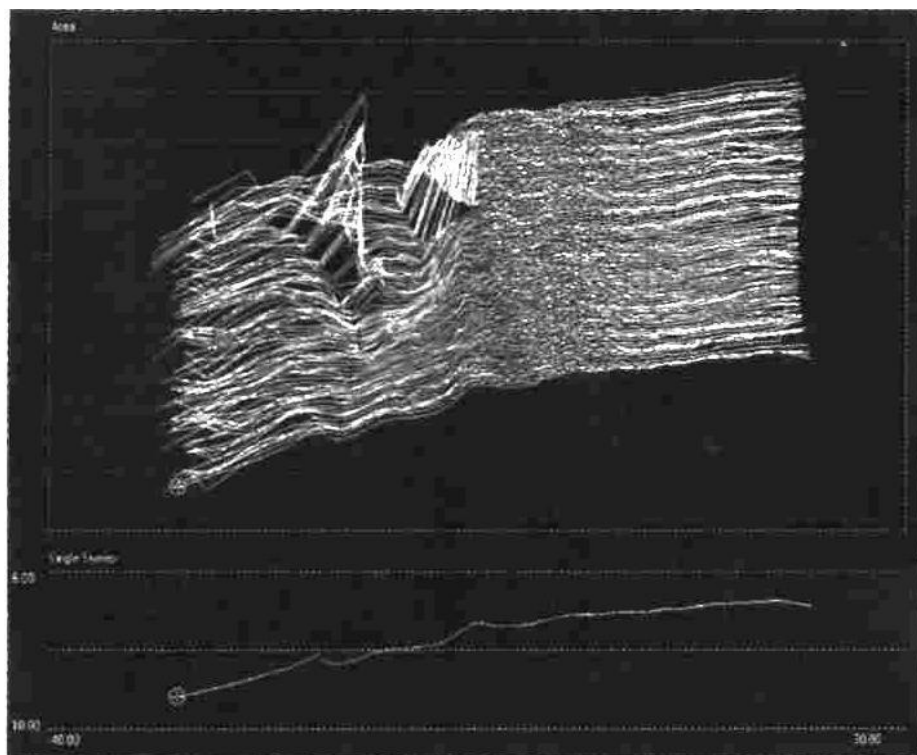


Рис. 5.4 – Обробка даних багатопроменевого ехолота. Затонулі буї в каналі Керч-Єні-Кале

Етапи обробки матеріалів обстеження багатопроменевим ехолотом по своїй суті у цілому не відрізняються від етапів обробки матеріалів проміру з використанням однопроменевого ехолоту, тому пояснень не потребують.

У той же час результати площинного обстеження за допомогою багатопроменевого ехолоту мають значно інший якісний рівень. Цей метод дозволяє виконати повне обстеження рельєфу дна з виявленням усіх навігаційних небезпек та підводних перешкод. Так на рис. 5.4 показано момент обробки даних багатопроменевого ехолоту, на яких видно декілька затонулих буїв. Отримання таких даних за допомогою однопроменевого ехолоту неможливе. Матеріали повного обстеження рельєфу дна дозволяють також значно якісніше провести вивчення донних наносів та оцінку об'ємів днопоглиблювальних робіт.

5.6 Зображення на картах об'єктів гідрографії

На топографічних картах зображуються:

- берегова лінія та акваторія морів, озер, водосховищ та інших водойм, припливно-відпливні смуги, берегові обмілини та мілини й острови;

- річки, канали, струмки та канами;
- природні та штучні джерела (в тому числі мінеральні й гарячі), колодязі, споруди для зберігання води;
- шлюзи, греблі, гідровузли, поромні переправи, перевози, броди, набережні, дамби та берегові вали, водопроводи, дюкери на лініях водоводів, акведуки;
- водосховища на стадії будівництва, площі розливів річок і ділянок, які затоплюються в період дощів та повеней;
- морські та річкові порти, пристані, якірні стоянки, морські пороми і канали, моли та причали, морські та річкові навігаційні знаки, об'єкти, що характеризують акваторію і прибережну смугу морів та найбільших озер (скелі, камені, рифи, небезпечні береги, банки, хвилеломи і буни, знаки, що вказують напрямом морських течій);
- рельєф дна морів, великих озер, водосховищ, судноплавних річок;
- інші об'єкти гідрографії та гідротехнічні споруди, що знаходяться на території, яка картографується,

При зображенні елементів гідрографії та гідротехнічних споруд необхідно із врахуванням генералізації, що визначається масштабом карти та особливостями території картографування, достовірно та наочно відображувати:

- берегову лінію морів, озер, водосховищ, типи берегів, форми озер та островів, а також характерні особливості узбережжя та прибережжя;
- системи водотоків та водойм, відносну густоту річкової мережі, зрошувальних та осушувальних систем, щільність розташування озер та островів, ступінь та характер звивистості річок;
- водні рубежі та їхні характеристики (в кожній річковій системі — головну річку, притоки різного значення і витoki великих річок), характер гирла річок, берегів і річкових заплав (притоки, рукави, стариці), їхня прохідність (заболоченість, характер ґрунту, рослинність);
- судноплавність річок та каналів з чітким позначенням єдиних судноплавних систем;
- колодязі та джерела (особливо з прісною водою) в засушливих та пустельних районах, а також характеристики до них, як до джерел водопостачання (крім карт масштабу 1:1 000 000),
- гідротехнічні споруди та переправи (греблі, дамби, шлюзи, поромні переправи, перевози і т. ш.), а на картах масштабів 1:10 000 — 1:200 000 ще й характеристики до них.

Зображена на картах берегова лінія моря повинна відповідати лінії урізу води при найбільшій високому її рівні під час припливу, а в разі відсутності припливу — при найбільшій високому її рівні під час прибою.

Берегова лінія озер та ставків, а також річок, що зображується із збереженням їхньої дійсної ширини в масштабі карти, повинна відповідати лінії рівня води в меженний період (тобто рівень води в сезон

найбільш низького її стояння), а берегова лінія великих водосховищ — лінії нормального підпірного рівня.

Річки та струмки наносять:

- на картах масштабів 1:10 000 – 1:25 000 — всі, незалежно від їх довжини;

- на картах масштабів 1:50 000 – 1:200 000 — як правило, довжиною в масштабі карти 1 см та більше.

- на картах масштабів 1:500 000-1:1 000 000 — як правило, довжиною 1,5 см та більше в масштабі карти.

Річки та струмки (постійні та пересихаючі), канали та канави в залежності від ширини водотоку в масштабі карти зображуються однією або двома лініями.

Озера та інші природні й штучні водойми наносяться на картах масштабів 1:10 000 – 1:100 000 (площею в масштабі карти 1 мм² і більше, а масштабів 1:200 000-1:1 000 000 — площею в маси карти 2 мм² і більше. Водойми менших розмірів показують у випадках, коли вони характеризують особливості території, що картографується, є орієнтирами або мають інше важливе значення.

Острови на морях, озерах, водосховищах та річках показують на картах масштабів 1:10 000 – 1:100 000, як правило, всі, а масштабів 1:200 000 –1:1 000 000 — площею в масштабі карти 0,5 мм² і більше. В залежності від характеру території, що картографується, на карти масштабів 1:200 000 –1:1 000 000 можуть бути нанесені острови меншого розміру. Острови, що розташовані окремо, віддалік від берегів, показують, як правило всі, незалежно від їхньої величини.

Позначки рівнів (урізів) води річок, каналів, озер, водосховищ, ставків та інших водойм підписуються на картах масштабів 1:10 000 – 1:100 000 з точністю до 0,1 м. Урізи води на картах масштабів 1:200 000 –1:1 000 000 підписуються з точністю до цілого метра.

Підписи урізів води при зображенні річок розміщуються через 10-15 см, як правило, біля злиття річок, у гирлах, поблизу великих населених пунктів та в інших характерних місцях. Позначки урізів води озер, водосховищ, ставків та інших водойм підписуються, якщо площа цих об'єктів складає в масштабі карти 1 см і більше.

Позначки урізів води відкритих морів та океанів на картах не підписуються. Значення урізів води Чорного та Азовського морів становить 0,3 м.

Рельєф дна морів, великих озер, водосховищ, судноплавних річок (останні лише на картах масштабів 1:10 000 –1:100 000 при їх ширині в масштабі карти 1,5 см і більше) зображується ізобатами з позначеннями глибин.

Ізобати проводять: на картах масштабів 1:10 000 – 1:100 000 за шкалою: 2, 5, 10, 20, 50 і 100 м;

- на карті масштабу 1: 200 000 за шкалою: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700, 1 000 і далі через 1 000 м;
- на карті масштабу 1: 500 000 за шкалою: 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700, 1 000 і далі через 1 000 м;
- на карті масштабу 1: 1 000 000 за шкалою: 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 700, 1 000 і далі через 1 000 м.

Позначки глибин даються в такій кількості на 1 дм² площі карти:

- на картах масштабів 1:10 000 – 1:100 000: 5-15 позначок (при глибині до 5 м позначки глибин підписуються з тією точністю, з якою вони підписані на морських картах, а при більших глибинах — з точністю до цілого метра);
- на картах масштабу 1:200 000 при глибинах до 20 м — 10-15 позначок, глибше 20 м — 5-10 позначок;
- на карті масштабу 1:500 000: у прибережній смузі — 10-15, на решті площі акваторії — 5...8 позначок;
- на карті масштабу 1:1 000 000: у прибережній смузі — 5... 10, на решті площі акваторії — 2...5 позначок;

На картах масштабів 1:200 000 – 1:1 000 000 всі позначки підписуються з точністю до цілого метра.

На зображенні акваторії озер та водосховищ позначки глибин підписуються при їх площі 10 см² і більше, а рельєф дна зображується ізобатами при площі 20 см² і більше.

При наявності матеріалів топографічної зйомки дна морів, озер, водосховищ та великих річок на картах масштабів 1:10 000 – 1:100 000 рельєф дна зображується горизонталями і позначками висот

Контрольні питання

1. У яких випадках враховують зближення меридіанів?
2. Від чого залежить теоретична і дійсна дальність видимості предметів і вогнів?
3. Від чого залежить лінійна чутливість створів?
4. Які види гідрометричних робіт використовуються при експлуатації судноплавних каналів?
5. У яких випадках для промірних робіт використовують ехолоти, ехотрали і багатопроменеві ехолоти?
6. Значення урізів води Чорного та Азовського морів.

6 ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ СУДНА В МОРІ

6.1 Навігаційні параметри і навігаційні ізолії

Для визначення місця судна в морі використовують різні технічні засоби. При спостереженні берегових орієнтирів, видимих із судна, використовують компас з пеленгатором чи секстант. Такі спостереження називають візуальними. При плаванні удалині від берегів місце судна визначають радіонавігаційними й астрономічними методами.

Усі величини, що вимірюють з метою визначити місце судна (пеленги, відстані, горизонтальні й вертикальні кути) називають навігаційними параметрами.

Навігаційною ізолією називають лінію рівних значень навігаційного параметра. У будь-якій точці ізолії зберігається постійне значення параметра (пеленга, відстані і т.п.). Тому, якщо в результаті вимірів на карті побудована навігаційна ізолія, то місце судна повинне знаходитися в одній з її точок. Однак для одержання місця необхідно нанести на карту, принаймні, ще одну ізолію, отриману одночасно з першою і, що має з нею тільки одну загальну точку. Точка перетинання таких ізолій і буде місцем судна.

При вимірі пеленга орієнтира виходить ізолія, називана ізопеленгою (рис. 6.1), що на невеликих відстанях зображується прямою лінією.

При вимірі із судна горизонтального кута між двома орієнтирами А і В ізолія має вид окружності, що проходить через орієнтири і вписує обмірюваний кут α (рис. 4). Якщо до орієнтира була обмірювана відстань, то ізолія також є окружністю, описаною з місця орієнтира як з центра радіусом, що дорівнює обмірюваній відстані.

Найбільш точними візуальними способами визначення місця судна є: по двох кутах, по трьох пеленгах і по трьох відстанях. Для таких визначень необхідна видимість на березі трьох орієнтирів.

Необхідно пам'ятати, що є випадок, називаний невизначеністю, коли місце судна по двох кутах визначити не можна. Цей випадок – коли три орієнтири й місце судна лежать на одній окружності називаної кола невизначеності. Координати судна визначаються неточно поблизу кола невизначеності.

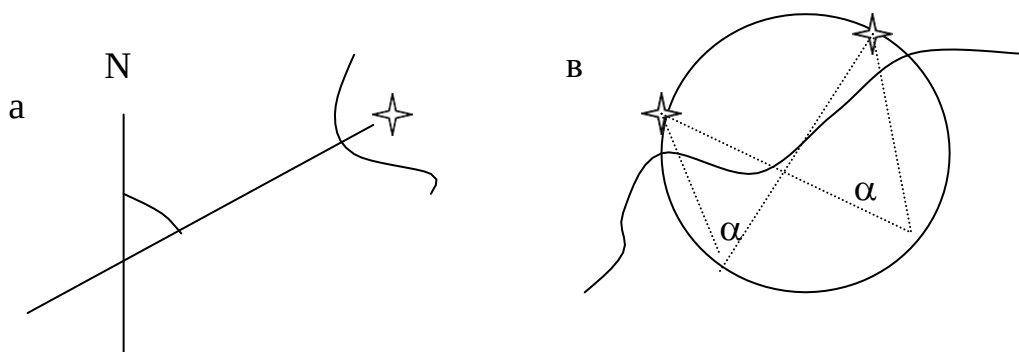


Рис.6.1 - Ізолінії при візуальному пеленгуванні (а) та при вимірі горизонтального кута (в)

6.2 Визначення місця судна по двох кутах

Коли із судна видні три, позначені на карті, орієнтири А, В, С і маються два спостерігачі, то виміривши одночасно двома секстантами кути між А і В та між В і С, можна одержати на карті місце судна. На практиці, виміривши секстантом кути α і β , місце судна наносять на карту за допомогою протрактора чи за допомогою листа прозорого папера.

Протрактор складається з розділеного на градуси кола і трьох лінійок, що виходять з центра цього кола. Середня лінійка нерухома, а дві крайні можуть бути встановлені під обмірюваними кутами α і β стосовно середньої лінійки. Установивши обидві лінійки під обмірюваними кутами, накладають протрактор на карту і, сполучивши скошений зріз середньої лінійки з точкою, що позначає середній орієнтир на карті, рухають весь протрактор так, щоб крайні лінійки пройшли через крапки, що позначають крайні орієнтири на карті. Тоді загальна вершина кутів α і β - центр кола протрактора представить місце судна.

Іноді наносять місце корабля, визначене по двох кутах, користуючись прозорим папером. На листі прозорого папера проводять довільну пряму (рис. 6.2) і в довільній точці Р будують обмірювані кути. Потім, наклавши цей листок паперу на карту і сполучивши середню лінію з точкою, що позначає середній орієнтир на карті, рухають прозорий папір так, щоб домогтися сполучення всіх трьох ліній з точками, що позначають на карті орієнтири, між якими вимірялися обидва кути.

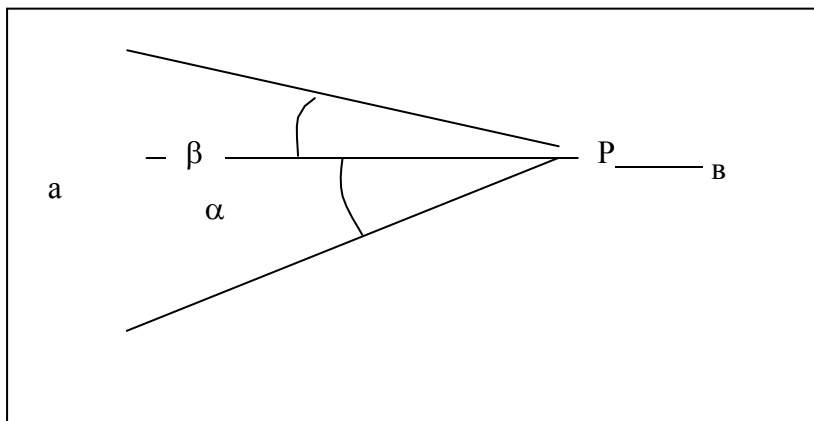


Рис. 6.2– Схема побудови зміряних кутів на прозорому папері

Іноді вимір кутів секстантами заміняють пеленгуванням трьох обраних предметів. У швидкій послідовності беруть три пеленги. Після цього розраховують кути між орієнтирами по різниці суміжних пеленгів.

6.3 Визначення місця судна по двох пеленгах

Місце судна визначають по пеленгах двох орієнтирів, нанесених на карту. Місце судна одержують у перетинанні двох ліній положення, якими є лінії істинних пеленгів.

Для практичного виконання вибирають два видимих орієнтири з таким розрахунком, щоб кут між напрямками на них був по можливості близьким до 90° , але, у всякому разі, не менше 30° і не більше 150° . До недоліків цього методу відносять неможливість контролю результатів, погрішності яких залежать від неодночасності узяття пеленгів, випадкових помилок і промахів при пеленгуванні, не точного обліку виправлень компаса.

6.4 Визначення місця судна по крюйс-пеленгу

Якщо із судна, що рухається, видний тільки один орієнтир, відстань до якого не може бути обмірювана, то для визначення місця застосовують спосіб крюйс-пеленга. При цьому орієнтир пеленгують 2 рази в різні моменти часу, місце судна одержують на момент других спостережень.

Спостереження, обчислення й прокладку при визначенні місця судна по крюйс-пеленгу виконують у наступному порядку. Беруть перший компасний пеленг орієнтира, зауважуючи час і відлік лага. Лінії щирх пеленгів прокладають на карті. Від точки перетинання першого пеленга відкладають за курсом відрізок шляху до другого пеленга. Задача

одержання місця по крюйс-пеленгу зводиться до уміщення відрізка пройденого між пеленгами шляху між лініями положення.

6.5 Визначення місця судна за допомогою суднової радіолокаційної станції

Суднова радіолокаційна станція дозволяє брати пеленги і вимірювати відстані до різних орієнтирів, а також бачити на екрані індикатора навколишню місцевість у плані.

Радіохвилі сантиметрового діапазону, застосовувані в радіолокації, поширюються подібно світловим хвилям, однак вони мають більшу здатність до заломлення. Дальність радіолокаційного об'їзду, милі

$$D=2.4(H)^{0.5}, \quad (6.1)$$

де H – висота антени РЛС, м.

Геометрична дальність виявлення предметів, милі, що має визначену висоту над рівнем моря :

$$D=2.4(H^{0.5} + h^{0.5}), \quad (6.2)$$

де h – висота об'єкта над рівнем моря, м.

Зображення на екрані індикатора РЛС орієнтують по норду. Нуль азимутального кола при цьому збігається з гірокомпасним меридіаном. Радіолокаційні пеленг вимірюють за допомогою механічного чи електронного візира, установлюваного над серединою луна сигналу. Точність отриманого істинного пеленга не перевищує $1 - 1,5^\circ$.

Радіолокаційні виміри відстаней у більшості випадків проводиться за допомогою рухливого кола дальності. Точність виміру відстаней складає від 1,5% (по п'ятимильної шкалі), до 0,6% (по шкалах 15- 30 миль) від обмірюваної відстані.

Точність радіолокаційного виміру відстаней вище точності радіолокаційного пеленгування, що необхідно мати у виді при визначенні місця судна. Тільки на малих відстанях, що не перевищують 0,5 милі, лінії пеленга не уступають по точності обмірюваній відстані.

6.6 Визначення місця судна по віялу пеленгів і відстаней

На кальці від довільної точки M (рис. 6.3), прокладають пеленги орієнтирів і по лініях пеленгів у масштабі карти відкладають обмірювані відстані. Одержують ряд точок a, b, c, f і т.д. Наклавши кальку на карту, переміщують її, поки, нанесені на кальку точки сполучаться з береговими орієнтирами. Точка M , перенесена з кальки на карту, укаже місце судна.

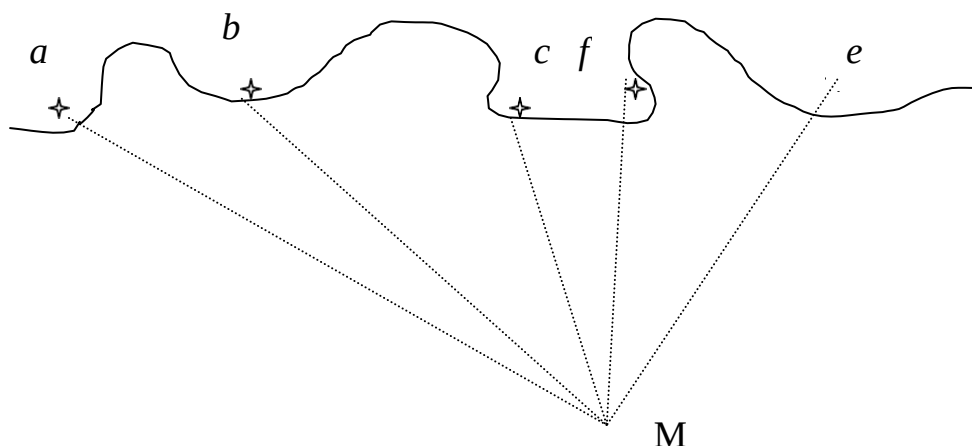


Рис. 6.3 – Визначення місця судна по віялу пеленгів і відстаней

6.7 Визначення місця судна по радіолокаційних відстанях

На екрані РЛС вибираються два чи три орієнтири А, В, С. Провівши спостереження, наносять на карті засічки радіусами, рівними обмірюваним відстаням D_1 , D_2 , D_3 у масштабі карти. Місце судна одержують у перетинанні засічок (рис.6.4). Місце судна по трьох радіолокаційних відстанях визначається із середньою квадратичною помилкою від 0,1 до 0,3 милі. Якщо на екрані індикатора мається зображення рівної берегової лінії, на якій є один орієнтир, то місце судна одержують наступним прийомом (рис.6.4).

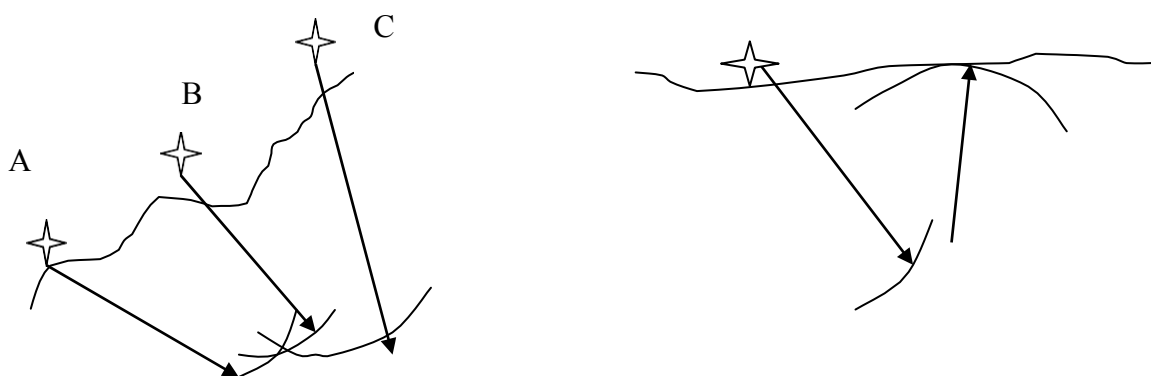


Рис. 6.4 - Визначення місця: а) по радіолокаційних відстанях; в) по точковому орієнтиру і рівної берегової риси

Від точкового орієнтира проводять дугу радіусом рівним обмірюваній відстані. Узявши циркулем відстань до берегової риси знаходять на отриманій дузі таке положення вістря циркуля, при якому олівець опише окружність дотичну до берегової риси. Місце наколу вістря циркуля буде відповідати положенню судна.

Визначення місця судна по радіолокаційній відстані і візуальному пеленгу. На практиці часто застосовують комбінований спосіб визначення місця по радіолокаційній відстані і візуальному пеленгу. При цьому визначення місця виконують у тім же порядку, що і при візуальних спостереженнях.

6.8 Визначення місця судна по секторних радіомаяках

Діаграма спрямованості випромінювання секторного радіомаяка показана на рис.6.5.

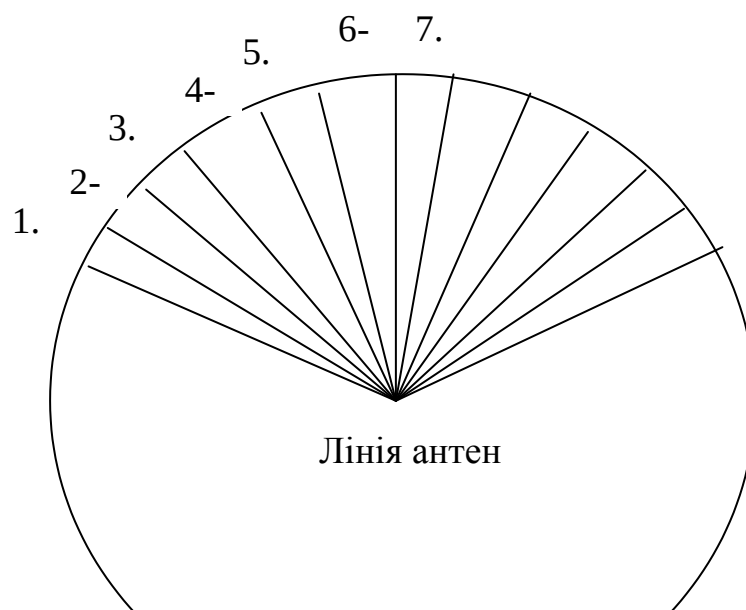


Рис. 6.5 – Діаграма спрямованості секторного радіомаяка

Робоча зона радіомаяка складається з 10-12 секторів. У першій половині робочого циклу передаються пізнавальні сигнали і довгі тирі для налаштування приймача. У другій половині циклу, тривалістю 60 чи 30 с, радіомаяк передає сигнали, що складаються з 60 точок чи тирі. Якщо в якому-небудь секторі сигнал має характер точок, то в сусідніх з ним секторах – тире. Тому по характеру сигналів, прийнятих на початку другої половини циклу, можна пізнати сектор, у якому знаходиться судно. Один

сектор відділений від іншого вузької рівносигнальною зоною, у якій обидва сигнали зливаються і, отже, чутний безупинний сигнал. З моменту початку другої половини циклу всі сектори починають плавно розвертатися в одному напрямку так, що до кінця циклу кожний з них займає місце сусіднього. У результаті цього спостерігач, що знаходився на початку циклу, наприклад, у секторі точок, спочатку чує точки, а потім після проходження через його місце рівносигнальної зони приймає тире.

Загальне число сигналів складає 60. У залежності від того, у якій частині сектора розташовується місце спостерігача, число прийнятих сигналів точок і тире буде різним. Наприклад, якщо спостерігач знаходився в центрі сектора точок, то він повинний почути 30 точок і 30 тире. Якщо спостерігач знаходився поблизу лівої границі сектора тире, то він почує, наприклад, 5 тире, а потім 55 точок. Таким чином, вид і число сигналів, почутих до проходження рівносигнальної зони, визначають назву сектора й відстань спостерігача від границі сектора.

Дальність дії секторних радіомаяків удень складає до 1000 миль, уночі – до 1500 миль. Місце судна при пеленгуванні на відстані від маяків до 500 миль визначається вдень із середньою квадратичною помилкою 1-3 милі, уночі помилки зростають у два рази.

При визначенні місця звичайно використовують два секторних радіомаяки. Прослухавши пізнавальний сигнал і довге тире, веде на слух рахунок знаків N_1 , що впливають за довгим тире до проходження рівносигнальної зони, а потім знаків N_2 – до кінця передачі.

З появою рівносигнальної зони частина знаків губиться. Тому уточнюють число знаків N , почутих до проходження рівносигнальної зони, додаючи виправлення, рівну половині відсутнього числа знаків:

$$N = N_1 + \frac{60 - (N_1 + N_2)}{2} . \quad (6.3)$$

Наприклад, прийнято 21 тире і 35 точок.

$$N = 21 + \frac{60 - (21 + 35)}{2} = 23 \text{ тире} .$$

Контрольні питання:

1. Від чого залежить дальність видимого обрію?
2. Як називається явище переломлення світлових променів в атмосфері?
3. Чому необхідно вводити виправлення в дальність видимості предметів і вогнів?
4. Від чого залежить величина кута зближення меридіанів?

5. У яких видах гідрографічних робіт необхідно враховувати зближення меридіанів?

6. Які методи визначення місця судна називають візуальними, радіонавігаційними?

7. Дайте визначення навігаційних параметрів.

8. Скільки потрібно навігаційних параметрів, щоб визначити місце судна?

9. Які способи визначення місця судна є найбільш точними?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Топографо-геодезична та картографічна діяльність. Законодавчі та нормативні акти. В 2-х частинах. Ч.1.– Вінниця: Антекс, 2000. – 408 с.
2. Топографо-геодезична та картографічна діяльність. Законодавчі та нормативні акти. В 2-х частинах. Ч.2.– Вінниця: Антекс, 2002. – 656 с.
3. Справочник по инженерной геодезии. – К.: Вища школа, 1978. – 376 с.
4. Файн Г.И. Навигация, лоция и мореходная астрономия. – М.: Транспорт, 1989.- 271 с.
5. Руководство по созданию и реконструкции геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS.– М.: ЦНИИГАиК, 2003.
6. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – М.: ЦНИИГАиК, 2002.
7. Белов В.В. Збірник методичних вказівок до виконання практичних робіт з курсу "Морська геодезія" . Одеса: ОДЕКУ, 2002.
8. Матвеев С.С. Гирокомпасы и гирогоризонткомпасы. Л., 1974.

Навчальне видання

Белов Володимир Вікторович

МОРСЬКА ГЕОДЕЗІЯ

Конспект лекцій

Підп. до друку 12.04.2011. Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Друк. офсетний. Умовн. друк. арк. 3,72. Тираж 50. Зам. № 144.

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15

Друкарня видавництва “Екологія”
65045, м. Одеса, вул. Базарна, 106
Тел.: (0482) 33-07-18, 37-07-95, 37-14-25

