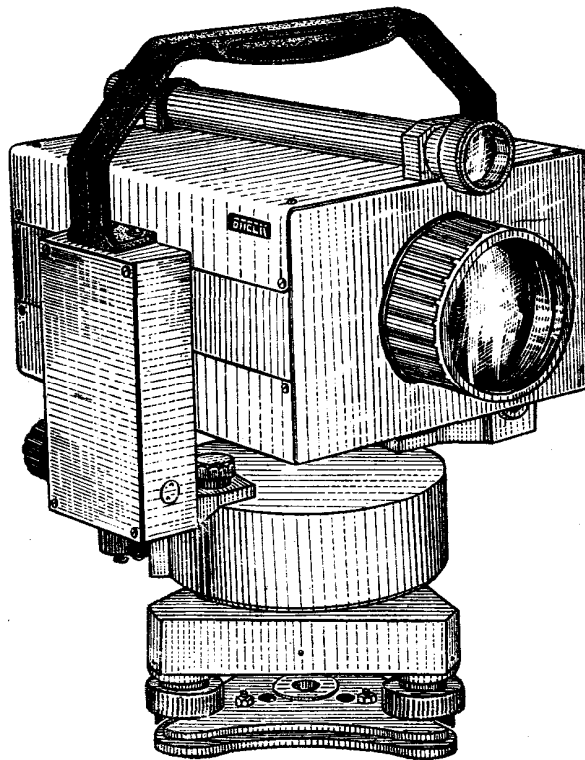


Міністерство освіти і науки України
Чернігівський державний інститут економіки і
управління

В.О. Боровий, Р.М. Літнарівч

ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

Конспект лекцій
для студентів спеціальностей
6.07 09 04 “Землевпорядкування та кадастр”
7.07 09 08 “Геоінформаційні системи і
технології”



Видання друге, виправлене і доповнене
Чернігів, 2005

УДК 378.147.31

Боровий В.О., Літнарівч Р.М. Геодезичні прилади. Конспект лекцій для студентів спеціальностей 6.07 09 04 “Землевпорядкування та кадастр”, 7.07 09 08 “Геоінформаційні системи і технології”. ЧДІЕіУ, Чернігів, 2003,- 223с. Видання друге, виправлене і доповнене.

Рекомендовано для використання у навчальному процесі на засіданні Вченої Ради ЧДІЕіУ, протокол №6 від 27.06.01.

Рецензенти: В.Г. Бурачек, д.т.н., професор
В.І. Канівець, д. с.-г наук, професор
М.І. Кравцов, к.т.н., доцент

Конспект лекцій складено на основі курсів “Оптико-механічні геодезичні прилади”, який читається на другому курсі землевпорядних спеціальностей і “Електронні геодезичні прилади”, який читається на третьому курсі.

Конспект лекцій записав студент III курсу Останін Віталій Сергійович.

Приведені основні положення геометричної і фізичної оптики, необхідні для вивчення сучасних геодезичних приладів. Розглянуті теорія і будова окремих частин геодезичних

приладів і методи їх досліджень. Відображені
принципові схеми, будова, дослідження,
перевірки і юстування основних типів
геодезичних приладів.

© В.О. Боровий, Р.М. Літнарівч

ЗМІСТ

Передмова.....	8
III СЕМЕСТР	
Лекція №1	
1. Предмет, задачі курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами.....	10
2. Призначення і класифікація геодезичних приладів.....	11
3. Розвиток геодезичного приладобудування за кордоном, в Росії і на Україні.....	17
4. Принцип Ферма. Основні закони геометричної оптики. Повне внутрішнє відбиття.....	36
Лекція №2	
5. Плоске дзеркало. Система двох дзеркал: паралельних і між якими є кут....	37
6. Лінзи. Їх види. Оптичні деталі з плоскими заломлюючими поверхнями.....	38
7. Види призм. Відбивні призми, їх застосування, позначення і типи. Оптичний клин.....	40
8. Центрована і ідеальна оптичні системи. Кардинальні площини і точки. Телескопічна система.....	43
Лекція №3	
9. Лупа. Об'єктив, його характеристики. Види об'єктивів. Телеоб'єктив.....	46
10. Окуляр, його характеристики. Види окулярів. Мікроскоп.....	48
11. Оптичні системи зорової труби. Типи фокусування.....	51
Лекція №4	
12. Основні характеристики зорової труби, методи їх визначення.....	53
13. Кутомірні круги і лінійні шкали. Способи їх виготовлення.....	56
14. Поняття про похибки поділок кутів і методи їх визначення.....	59
Лекція №5	
15. Типи і призначення відлікових улаштувань.....	61
16. Рівні геодезичних приладів, їх призначення. Види ампул.....	68
17. Круглий, циліндричний, контактний рівні, їх устрій.....	69
Лекція №6	
18. Ціна поділки рівнів.....	72
19. Методи визначення ціни поділки рівня.....	74
20. Електронні рівні.....	75
IV СЕМЕСТР	
Лекція №7	
21. Осьові системи геодезичних приладів. Вимоги до осьових систем.....	76
22. Основні конструкції вертикальних осей.....	78
23. Типи компенсаторів в нівелірах.....	81
24. Маятникові компенсатори нахилу.....	83
Лекція №8	
25. Компенсатори нахилу з рівнем.....	86
26. Принцип дії рідінних компенсаторів. Види демпферування.....	89
27. Ексцентриситет алідади і лімба, його вплив.....	91

28. Вплив ексцентриситету.....	92
Лекція №9	
29. Визначення ексцентриситету алідади і лімба.....	93
30. Методика визначення ексцентриситету.....	94
31. Підіймальні гвинти, закріпні і навідні гвинти.....	95
32. Виправні, юстувальні гвинти. Елеваційний гвинт.....	97
33. Правила поводження з геодезичними приладами.....	98
Лекція №10	
34. Тахеометри.....	100
35. Авторедукційний тахеометр з базисом при інструменті.....	101
36. Електронні тахеометри.....	103
37. Спеціальні геодезичні прилади.....	105
V СЕМЕСТР. ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ	
Лекція №1	
Основні методи вимірювання віддалей.....	107
1.1 Часовий.....	109
1.2 Фазовий.....	110
Лекція №2	
2.1 Частотний метод з модульованими коливаннями.....	114
2.2 Частотний метод заснований на ефекті Доплера	116
2.3 Схема Доплерівського віддалемірного пристрою.....	117
Лекція №3	
3.1 Виключення багатозначності за наближеними значеннями вимірюємої лінії.....	118
3.2 Виключення багатозначності при плавній зміні частоти (одноступеневий спосіб).....	121
3.3 Виключення багатозначності при вимірюваннях на фіксованих частотах.....	125
3.4 Виключення багатозначності на близьких фіксованих довжинах хвиль (частот).....	127
Лекція №4	
Функціональні схеми світловіддалеміра.....	128
4.1. Загальна функціональна схема віддалеміра.....	128
4.2. Загальна функціональна схема світловіддалеміра першого покоління.....	130
Лекція №5	
Світловіддалеміри другого і третього поколінь.....	134
5.1 Загальна функціональна схема віддалемірів другого і третього поколінь..	136
5.2 Віддалеміри третього покоління.....	136
Лекція №6	
Джерела світла світловіддалемірів.....	138
6.1 Електромагнітні хвилі оптичного діапазону.....	138
6.2 Будова газового лазера.....	141
Лекція №7	
Принцип дії напівпровідникових оптичних генераторів.....	145
7.1 Напівпровідниковий лазер.....	145
7.2 Принцип дії напівпровідникових оптичних генераторів.....	145

Лекція №8

Способи модуляції світла.....	149
8.1 Модуляція і інтенсивність світла.....	149
8.2 Два способи модуляції світла.....	151
8.3 Механічні і фізико-оптичні модулятори.....	153

Лекція №9

Фазовий зсув променів.....	151
9.1 Оптичні осі кристала.....	155
9.2 Комірка Керра.....	157
9.3 Фазовий зсув променів.....	162

Лекція №10

Ефект Керра.....	162
10.1 Статична і модуляційна характеристики неповної комірки Керра.....	163
10.2 Фотоелектронні помножувачі та фотодіоди.....	165

Лекція №11

Оптичні системи світловіддалемірів.....	170
Додатки.....	175
Література.....	222

Скорочені позначення, прийняті конспекті:

ДЕСТ – Державний стандарт

СКП – середньо квадратична похибка

ВК – вертикальний круг

ГК – горизонтальний круг

МО – місце нуля

ТУ – технічні умови

СД – світловіддалемір

ШСЗ – штучний супутник Землі

РД – радіовіддалемір

ЕМ(коливання) – електромагнітні коливання

GPS – (англ. Global Position System), глобальна

супутникова система визначення

місцезнаходження

ФЕП – фотоелектронний помножувач

(перетворювач)

ДГМ – Державна геодезична мережа

НПЛ – напівпровідниковий лазер

ККД – коефіцієнт корисної дії

ПЕРЕДМОВА

Сучасні геодезичні прилади зручні в роботі, високопродуктивні, забезпечують високу точність вимірювань. Їх правильна експлуатація потребує від виконавців робіт поглиблених знань. Тому, в навчальні плани землепорядних спеціальностей включена дисципліна “Геодезичні прилади”, яка вже чотири роки читається в ЧДІЕіУ.

Розкривається предмет і задачі курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами, призначення і класифікація геодезичних приладів, розвиток геодезичного приладобудування за кордоном, в Росії і на Україні.

Приводиться основний принцип геометричної оптики, розглядаються системи двох дзеркал, лінзи, їх види, оптичні деталі з плоскими заломлюючими поверхнями, види призми.

Розглядаються центрована, ідеальна оптична система, кардинальні площини і точки, телескопічні системи, лупи, об'єктиви та їх характеристики; види об'єктивів, окулярів.

Приводяться оптичні системи зорової труби і її основні характеристики, кутомірні круги, відлікові устаткування, рівні геодезичних приладів, компенсатори.

Відображені принципова схема світловіддалеміра, функціональні схеми світловіддалемірів першого, другого і третього поколінь, джерела світла світловіддалемірів, принцип дії напівпровідникових оптичних генераторів, способи модуляції світла, фотоелектронні помножувачі та фотодіоди, оптичні системи світловіддалемірів.

Частина перша конспекта прочитана доктором технічних наук, професором В.О Боровим;
частина друга конспекта прочитана кандидатом технічних наук, доцентом Р.М. Літнарівичем.

III СЕМЕСТР

Частина I

1. Предмет і задачі курсу, його зв'язок з іншими дисциплінами.

Предмет курсу- це інженерно-технічна прикладна дисципліна, яка вивчає теорію і устрій геодезичних приладів, а також елементи їх конструювання, виготовлення, юстировки і дослідження. Геодезичні прилади в більшості застосовуються в геодезії, але мають значне використання і в інших інженерно-технічних дисциплінах:

- землеустрої;
- лісоустрої;
- дорожніх вишукуваннях;
- меліорації та інших.

В своїй більшості це оптико-механічні прилади, вони мають працювати в різних кліматичних умовах (від -40° до $+50^{\circ}\text{C}$), при вібраціях та інших метеорологічних факторах. Особливим фактором в геодезії є рефракція.

Останніми роками в ряду геодезичних приладів з'явилися спеціальні геодезичні прилади, які мають застосування в машинобудуванні, приладабудуванні, спеціальних будівельних роботах та іншому.

Це такі геодезичні прилади: лазерні геодезичні прилади, автоколімаційні прилади, GPS-приймачі.

Найважливішою характеристикою кожного геодезичного приладу є точність. Тому, виникають наступні задачі курсу:

1. Навчитися елементам конструювання приладів, технології їх виготовлення;
2. Ознайомитися з різними методиками вимірювання;
3. Навчитися методам визначення поправок, введення їх в результати досліджень;
4. Знати особливості дослідження приладів, юстировок окремих параметрів.

2. Призначення і класифікація геодезичних приладів

Для вирішення наукових і практичних завдань, таких як:

1. Побудова опорної геодезичної мережі, інженерні вишукування, роботи в будівництві і експлуатації інженерних споруд
2. Інженерні роботи при :

- а) землеустрої;
- б) лісоустрої;
- в) геологічних роботах;
- г) гідромеліоративних роботах та інше ;

3. Контроль геометричних параметрів на машинобудівних заводах, де геодезичний прилад використовується як зразковий засіб атестації;

Всі геодезичні прилади розбиваються на 6 груп (класів) :

1. Теодоліти –прилади для вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів (зенітних відстаней);

2. Нівеліри –прилади , що застосовуються для вимірювання перевищень (висот);

3. Віддалеміри (далекоміри) - прилади для вимірювання довжин ліній;

4. Комбіновані:

а) тахеометри – прилади для вимірювання горизонтального і вертикального кутів , довжин ліній і перевищень;

б) кіпрегелі - прилади для вимірювання вертикальних кутів, відстаней , перевищень і графічної побудови напрямків при топографічній зйомці.

5. Комплектуючі приладдя : штативи, рейки , масштабні лінійки, центрири, рівні, орієнтир – бусолі, рулетки, транспортири та інші.

6. Спеціальні геодезичні прилади: візуальні і фотоелектричні автоколіматори , гіртеодоліти (прокомпаси) , лазерні прилади , прилади для вимірювання створів , для горизонтування.

1. Теодоліти виготовляються трьох типів:

1. високоточні (Т1);

2. точні (Т2, Т5);

3. технічні (Т15, Т30).

Всі ці теодоліти можуть мати букви:

А, К, П, М.

Це означає : А – автоколімаційний теодоліт ; К – теодоліт з компенсатором при вертикальному крузі; П – пряме зображення зорової труби; М – маркшейдерські теодоліти.

Типовим позначенням теодоліта може бути : 3Т2КП. Це означає : 3 – третя модифікація приладу; Т – теодоліт; 2 – СКП вимірювання горизонтального кута одним прийомом (2"); К – з компенсатором; П- пряме зображення зорової труби.

ДЕСТом на теодоліт є ДЕСТ 10529. ДЕСТом допускається виготовлення більш точних теодолітів. Тому , можна застосовувати в проектах, при вимірюваннях найбільш точний теодоліт Т05, СКП якого 0,5".

2. Нівеліри. відповідно до ДЕСТ 10528 по точності підрозділяються на :

1. Високоточні – похибка вимірювання перевищення менші 1 мм;

2. Точні - похибка вимірювання перевищення не більша 3 мм;

3. Технічні - похибка вимірювання перевищення більші 3 мм;

відповідно до точності випускаються :

високоточний нівелір Н05 для нівелювання I та II класу ; точний нівелір Н3 для нівелювання III та IV класу, а також його різновидності НЗК (з компенсатором), НЗКЛ (з компенсатором і лімбом для вимірювання горизонтального кута); технічний нівелір Н10 та інші. Відповідно до класифікації нівелірів виготовляються рейки трьох типів : РН05,РН3,РН10.

3. Прилади для вимірювання довжин ліній можуть бути механічними та оптико – електронними. Механічні: сталеві рулетки, мірні стрічки. Оптико електронні : оптичні далекоміри, світловіддалеміри.

Оптичні далекоміри виготовляються , як правило, у вигляді насадок на зорові труби або у вигляді самостійних приладів. Насадки

вимірюють паралактичний кут і постійну базу . База може бути як при приладі , так і при рейці. Самостійні оптичні далекоміри характеризуються СКП в сантиметрах на кожні 100 м відстані. Наприклад, Д2 – далекомір , який дає СКП 2 см на 100 м.

Світловідалеміри підрозділяються на 4 групи в залежності від застосування :

СГ – світловідалеміри геодезичні , що застосовуються в основних геодезичних мережах і мають діапазон вимірювання від 0,1 до 20 км.

СП – світловідалеміри , що застосовуються в прикладній геодезії. Діапазон - від 0,001 до 5 км.

СТ – світловідалеміри , що застосовується в топографічних зйомках. Діапазон- від 0,001 до 15 км.

СТД – світловідалеміри топографічні по дифузному відбиттю. Діапазон - до 10 км.

4. Тахеометри характеризуються не за точністю вимірювання, а за конструктивними ознаками, що даються в шифрі. І все таки, тахеометри Т-2, ТЕ є точні, а ТаН і ТВ – технічні.

ТЕ – тахеометр електрооптичний для вимірювання відстаней до 2 км з середньоквадратичною похибкою (СКП) -2 см,

для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів відповідно 3-5".

ТД – тахеометр подвійного зображення, який вимірює кути: горизонтальні - 8"; вертикальні - 12".

ТаН – тахеометр номограмний, в полі зору якого ми бачимо криві, по яких визначають відстань і перевищення.

ТВ – тахеометр внутрішньобазовий.

Кіпрегелі виготовляють згідно ГОСТу одного типу: КН - кіпрегель номограмний.

Виготовляють один тип мензули.

б. Спеціальні прилади. В залежності від геодезичних робіт застосовують спеціальні геодезичні прилади:

Автоколіматори АК-02У; АК-05; АК-1. Число означає СКП зняття відліку, У- уніфікований (дає виміри як по горизонталі так і по вертикалі). Є велика група фотоелектронних автоколіматорів, які в діапазоні декількох градусів мають точність 0,01". Фотоелектронні автоколіматори повністю автоматизовані.

До спеціальних приладів також відносяться квадранти: КО-2 (квадрант оптичний; 2- означає, що похибка дорівнює 2" визначення нахилу), КО-10, КО-60М (М – магнітний).

Велеким класом спеціальних приладів є лазерні геодезичні прилади: лазерні теодоліти, лазерні візири, лазерні нівеліри і лазерні прилади вертикального проектування

До спеціальних приладів відносяться гоніометри (в тому числі і лазерні) – прилади для атестації оптичних деталей приладів.

Останньою розробкою приладу для визначення місцеположення є GPS – приймачі.

3. Розвиток геодезичного приладобудування за кордоном, в Росії і на Україні.

Із історичних документів відомо, що першими геодезичними приладами користувались ще біля 3 тис. років до н.е. при будівництві зрошувальних каналів в Вавілоні, Єгипті і Китаї. Це були мірні мотузки, мірні рейки, ватерпаси з виском і компаси.

Значний вклад в розвиток техніки землемірної справи і геодезичних вимірювань в стародавні часи внесли представники арабської, грецької і римської науки. Тут досить назвати роботу Герона Олександрійського „Про діоптру” (100 років до н.е.), де він запропонував кутомірний прилад з діоптрами і поворотною лінійкою; астролябію Гіппарха з лімбом діаметром 10-20 см з градусними поділками, яку

по праву можна рахувати прообразом теодолітів; римський землемірний хрест (прообраз еккера) для розбивки прямих кутів на місцевості; удосконалений арабами китайський компас для цілей кутових вимірювань. Приблизно до цього часу відносяться виконані Ератосфеном за допомогою гномона (сонячного годинника) перші інструментальні визначення кола Землі.

Арабський вчений Біруні (973-1048р.р.) сконструював пристрій для поділення лімбів через $5'$, що широко використовувався для астрономічних спостережень.

Розвиток науки в Європі в період проголошення матеріалістичного уявлення про розвиток Всесвіту був призупинений церквою, інквізицією.

Великі географічні відкриття дали новий поштовх розвитку науки. Нові пізнання в галузі фізики і механіки вплинули на розвиток і удосконалення геодезичних приладів. Леонардо Да Вінчі (1452-1519р.р.) сконструював возик для вимірювання пройденого шляху, лічильник кроків, а також запропонував для компасу круглий корпус. Француз Фурнель в 1525р. для визначення радіусу Землі застосував мірне колесо, при цьому 17024 оберти колеса відповідали 1° дуги меридіана.

В другій половині XVI ст., а саме в 1552р., на основі астролябії англієць Діггс створив прилад для вимірювання горизонтальних кутів і вперше запропонував термін „теодоліт”. Для встановлення на місцевості геодезичних приладів з’явилися штативи. Німецький професор Преторіус винайшов мензулу з лінійками і діоптрами, яка пізніше уже використовувалась в сполученні з кіпрегелем.

В 1609р. італійський вчений Галілео Галілей (1564-1642р.р.) створює зорову трубу, що складалась з скляних лінз. Вона отримала назву голландської зорової труби, або труби Галілея. В 1611 році Іоган Кеплер (1571-1630р.р.) запропонував два варіанти зорової труби з сіткою ниток з прямим (земна труба) і зворотнім (астрономічна труба) зображенням. Це дало можливість практичного застосування лінзових зорових труб в вимірювальних геодезичних і астрономічних приладах, хоча збільшення труб було невеликим (від 9 до 30 крат).

Одночасно удосконалювалися відлікові улаштування. Запропонований в 1583р. німецьким математиком Клавіусом принцип ноніуса в 1631р. вперше реалізує голландець Петер Вернер (1580-1637р.р.) під назвою „верньєр”. Пізніше, в середині XVIII ст.

англійчанин Джесс Рамсден (1735-1800р.р.) винайшов мікроскоп з гвинтовим мікрометром для точного відліку по шкалах.

Запропонований в 1662р. французом Жевено циліндричний рівень сприяв розвитку нівелірів з рівнями. В 1770р. І. Мейер в Геттінгені вперше застосовує круглий рівень з металевим резервуаром для горизонтування приладу.

Велике значення для удосконалення геодезичних приладів мали розробки нових типів осьових систем. В 1785р. французький астроном Борда, а в 1830р. гамбурзький механік Репсольд запропонували нові осьові системи для обертання рухомої частини інструмента відносно нерухомої. В 1804р. Георг Рейхенбах (1772-1826р.р.) сконструював повторювальний теодоліт. Він же в 1810р. ввів в зорову трубу далекомірні нитки для визначення похилих відстаней по вертикальній рейці. Застосування далекомірних ниток для отримання горизонтальних прокладень привело в 1900р. до реалізації принципу Гаммера-Феннеля, в конструкції першого номограмного тахеометра з зоровою трубою італійця Порро (1801-1875р.р.).

На початку ХІХст. з'явилися зразки оптичних віддалемірів з базисом при інструменті. Віддалеміри працювали на принципі подвійного

зображення або в стереоскопічному варіанті. Більш легкі і компактні прилади з'явилися завдяки застосуванню чехами Іозефом і Яном Фрич в 1886р. скляних лімбів.

Значні заслуги в модернізації геодезичних приладів належить швейцарцю Генріху Вільду (1877-1951р.р.), головними винаходами якого є:

- 1) труба з внутрішнім фокусуванням;
- 2) контактний рівень;
- 3) мікрометр нівеліра з плоскопаралельною пластинкою;
- 4) оптичний мікрометр;
- 5) осьова система на шарикопідшипниках;
- 6) інварні рейки;
- 7) віддалемір подвійного зображення у вигляді насадки на об'єктив труби.

XIX і XX ст. ознаменувалося тим, що замість невеликих майстерень, де розроблялись і виготовлялись геодезичні прилади з'явилися великі фірми і заводи. Найбільш відомі серед них: швейцарські фірми „Акціонерне товариство Керн и К^о” (1819р.), „Акціонерне товариство Вільд”(1921р.); німецькі фірми „Карл Цейс”(1846р.), „Оптон”, „Асканія”, заводи: „Отто Френель і К^о”, „Точної механіки Ертеля”; шведська фірма АГА; англійські фірми „Теллуrometer”, „Віккерс-Лімітед”, „Віккерс

Інструментс”; японська фірма „Сокіа”, французький завод „Товариство оптики, точних приладів, електроніки і механіки”; фірма США „Спектрафізкс”; угорські оптичні заводи МОМ; чеський завод „Меопта”; „Польські заклади оптичні” та інші.

Парк геодезичних приладів в XVII-XVIII ст. в Росії в основному поповнювався за рахунок їх ввезення із західної Європи.

Перша російська державна оптична майстерня була створена при дворі Петра I спочатку в Москві, а потім – в Петербурзі. В майстерні видатні російські оптики І.Є. Беляєв і Д. Колосов виготовляли і ремонтували астролябії, квадранти, нівеліри та інші геодезичні і астрономічні інструменти.

В 1725р. створена Російська Академія Наук, при якій відкрилась оптична майстерня. В ній майстри І.Є. Беляєв та І.І. Калмиков самостійно виготовляють геодезичні та оптичні інструменти, зорові труби і дзеркальні телескопи.

З 1736р. Академічною майстернею керує один із кращих спеціалістів механічної і інструментальної справи того часу А. К. Нартов (1694-1756). На станках Нартова обробляються механічні деталі геодезичних інструментів, а в майстерні виготовляють астролябії, ватерпаси з

трубою (нівеліри), зорові і астрономічні труби, оптичне скло і дзеркала. Астролябія, наприклад, складалась з компаса, розташованого в центрі горизонтального кола, поділеного на 360° , двох пар діоптрів і штатива. Точність візування через діоптри досягала $15-20''$. В майстерні виконувались замовлення М. В. Ломоносова.

З 1769р. видатний російський механік-самоука І. П. Кулібін (1735-1818р.р.) більше тридцяти років керував майстернями Академії Наук, розробляв і удосконалював технологію виготовлення геодезичних приладів.

Значення творчості російських вчених і винахідників XVIII ст. для розвитку оптичних інструментів, в тому числі і геодезичних приладів, важко переоцінити. Проте виготовлення і впровадження геодезичних приладів було обмежено вузькими рамками розвитку виробничих сил того часу. „Хвороба” плазування перед авторитетом іноземних вчених стала причиною закриття на початку XIX ст. майстерень Академії Наук.

В той же час міжнародні обставини Росії вимагали забезпечення армії і морського флоту топографічними картами. Це сприяло створенню в 1797р. спеціальної служби – Депо карт. В 1811р. Депо карт організовує механічну

майстерню, де в значній кількості виготовляли астролябії, бусолі, зорові труби, мензули, стрічки та інші прилади для геодезичних і топографічних робіт. В 1821р. майстерню реорганізують в механічний заклад Головного штабу. В 1822 р. при Головному штабі заснували Корпус військових топографів.

З 1823р. механічний заклад виготовляє удосконалений повторювальний теодоліт з повірочною трубою, що позитивно позначилось на результатах вимірювань. Для робіт геодезиста і астронома академіка В. Я. Струве був виготовлений повторювальний теодоліт з зоровою трубою, що мала фокусну відстань 400 мм і збільшення 35^x . Відлікове улаштування теодоліта – верньєр $4''$ точності.

В 1868р. механічний заклад виготовляє кіпрегель і мензулу нових зразків. Їх конструкція мала всі ознаки сучасних і майже 100 років не зазнавала суттєвих змін. Кіпрегель мав лінійку, на одному кінці якої знаходився рівень, а на другому – поперечний масштаб. На колонці, закріпленій посередині лінійки, розташовувались зорова труба з сіткою ниток і „круг висот” з поділками через 1° і рівнем. Всі основні деталі кіпрегеля виготовляли із сплавів міді, що виключало вплив заліза на положення магнітної

стрілки бусолі. В конструкцію „мюнхенської” мензули внесли зміни: змінили зв’язок мензульної дошки з штативом і надали їй мікрометричного руху.

За ініціативи військового геодезиста Д. Д. Гедеонова (1854-1908р.р.) в 1883р. введені зміни в конструкції нівелірів: покращено зв’язок рівня з зоровою трубою і застосовували бокове плоске дзеркало при рівні. Нівеліри подібної конструкції застосовувались на геодезичних роботах до 1940р. Д. Д. Гедеонов розробляє і впроваджує конструкцію малого вертикального круга для астрономічних спостережень.

Заснована в 1839р. академіком В. Я. Струве Пулковська обсерваторія з її механічною майстернею стала другим важливим закладом по виготовленню високоточних геодезичних і астрономічних інструментів. Кутомірні прилади з великими діаметрами горизонтальних кругів тут замінюють на менші за габаритами, але з більш точними поділками. Відлікові улаштування – ноніуси, замінюють на мікроскоп – мікрометр, що значно підвищило точність вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів.

З 1845р. механічною майстернею Пулковської обсерваторії завідував Г. К. Брауер

(1796-1882р.р.). Під його керівництвом розроблено багато оригінальних приладів: 1) універсальні прилади 2" і 10" точності; 2) точні рівні і екзаменатори для визначення їх ціни поділки; 3) нівелір – теодоліт; 4) диференціальні барометри, виготовлені на замовлення Д. І. Менделєєва і з успіхом застосовані геодезистами для нівелювання; 5) астрономічні пасажні прилади і малі вертикальні круги з ламаною зоровою трубою; 6) ділильну машину для лімбів.

Справу великого майстра продовжили його учні В. Ф. Гербер (1842-1909р.р.) і Г. А. Фрейберг-Кондратьєв (1854-1943р.р.). Перший удосконалює осьові системи, технологію шліфування цапф. За його способом цапфи виготовляли з точністю до 10мкм за 2 дні (замість 2-х тижнів раніше). Його майстерності належать 13 переносних пасажних інструментів для Росії і деяких обсерваторій світу (Кембридж, Швеція, Німеччина), 2 базисних прилади і 3 компаратори, 5-футовий віддалемір, багато рівнів різної точності та інше. Другий удосконалює ділильні машини і процес нанесення поділок на лімб, створює новий тип переносного зеніт – телескопа з ламаною трубою, подібних якому не було за кордоном.

Таким чином, майстерні Військово – топографічного відділу Головного штабу і Пулковська механічна майстерня були передовими підприємствами того часу. Їх прилади за якістю не тільки не поступались закордонним, а в деяких випадках і перевершували зразки відомих фірм. Але промислового розвитку геодезичне приладобудування за часів царської Росії не отримало і парк приладів поповнювався значною мірою від німецької фірми „Гільдебранд”.

Розвиток радянського геодезичного приладобудування розпочався з підписаного в 1919р. Декрету Раднаркому „Про заснування Вищого Геодезичного Управління”. В 1923р. на базі майстерень Корпусу військових топографів створюється завод „Геодезія”, який швидко поповнює парк приладів серійним випуском теодолітів, нівелірів, мензул, нівелірних рейок. До речі, рейки для точного нівелювання були кращі за рейки німецької фірми „Гільдебранд”. Другий завод „Геофізика” з 1927р. випускає теодоліт-тахеометр ТТ-30 з трубою, що має внутрішнє фокусування, а в 30-х роках – оптичні теодоліти ОТ і ОТ-10. Великі заслуги в розробці оптичних систем і технологічних процесів виготовлення оптичних приладів належать

Державному оптичному інституту, організованому ще в 1918р.

Створений в 1928р. Державний інститут геодезії і картографії (тепер ЦНДІГ і К) проектує і досліджує нові зразки геодезичних приладів, випуск яких веде організований в 1934р. завод „Аерогеоприлад”. Це – триангуляційні теодоліти ТТ $2''/6''$ і ТТ $5''/10''$, астрономічний універсал АУ $2''/10''$ і високоточний нівелір „Аерогеоприлад”. Завод з 1935р. виготовляє ампули рівнів з ціною поділки $2-5''$, які по якості перевершували рівні найбільш відомої європейської фірми “Песлер”, що виготовляла їх більше 60 років.

В 30-х і 40-х роках конструкції геодезичних приладів удосконалюються такими нововведеннями, як: зорові труби з внутрішнім фокусуванням, циліндричні осі, контактні рівні, оптичний мікрометр з сполученим відліком, тангенціальні шкали в тахеометрах, нові види настановних пристосувань, нанесення поділок на скляні лімби. В 1947р. виготовлені серійно портативні і зручні теодоліти ОТС, ОТМ і ОТБ з скляними лімбами і оптичними мікрометрами. З'являються нові типи геодезичних приладів: оптичні теодоліти ТБ-1 і ОТ-02, високоточні нівеліри НПГ і НБ, нівелір з оптичним компенсатором Г. Ю. Стодолкевича, Кіпрегель

КА-2, віддалемірна насадка ДНБ В. А. Беліцина та інші.

Характерною рисою геодезичного приладобудування з 50-х років є широке застосування досягнень оптики, механіки, фізики, електроніки, металургії. Використання досягнень науки і техніки створило нові можливості розробки геодезичних приладів з підвищеними експлуатаційними характеристиками, в першу чергу, для лінійних і кутових вимірювань.

Значними досягненнями засобів лінійних вимірювань є розробки серії світловіддалемірів для визначення великих, середніх і малих відстаней. Розроблений і виготовлений в 1936р. в Державному оптичному інституті під керівництвом А. А. Лебедева перший в світі світловіддалемір для вимірювання ліній довжиною до 3,5 км мав похибку біля 2-3 м. В 1953р. В. П. Васильєв і В. А. Величко розробили світловіддалемір СВВ-1 для вимірювання відстаней до 15 км. В ЦНДІ і К в 1967р. розроблений світловіддалемір „Кварц” з гелій-неоновим лазером, дальність дії якого досягала 30 км з похибкою вимірювання $(2+2 \cdot 10^{-6} D)$ см, де D повинно бути в км.

Особливо швидко знайшли впровадження на виробництві топографічні світловіддалеміри СТ-61, розроблені в «МІІГА і К» під керівництвом В. Д. Большакова, і „Кристал” (ЦНДІІГА і К), а також світловіддалеміри серії СМ. Наприклад, світловіддалемір СМ-3 з дальністю 1,6км мав похибку вимірювання 2-3см, а в удосконалених 2СМ-2, СМ-5 і 3СМ2 відповідно з дальністю дії 2км, 0,5км і 3-5км інструментальна похибка не перевищувала 1см. Більшість сучасних світловіддалемірів постачається автоматичною системою обробки інформації з видачею результатів вимірювання на табло.

Слід відзначити успішні розробки топографічних світловіддалемірів закордонними фірмами: Оптон Оберкохен, „Карл Цейс, Ієна” (Німеччина), АГА (Швеція), „Вільд Хербруг” (Швейцарія), „Хєюлет Паккард” (США) та іншими. В діапазоні до 2-3км більшість приладів мали інструментальну похибку 1-2см.

Під керівництвом А. А. Геніке (ЦНДІІГА і К) в 60-х роках розроблені і знайшли застосування геодезичні радіодалекоміри ВРД і серійні РДГ і РДГВ, а також „Промінь” для великих відстаней і „Хвиля” для топографічних цілей. Перші три прилади працюють в 10-сантиметровому

діапазоні несучих радіохвиль, а наступні два – в 3-сантиметровому.

Синтез топографічного світловіддалеміра з теодолітом (візуальним або кодовим) привів до створення електронних техеометрів (напівавтоматичних або автоматичних), що по суті є універсальним геодезичним приладом. Разом з вбудованими мікропроцесорами такі прилади забезпечують автоматизацію кутових вимірювань.

Автоматизація окремих операцій в геодезичних приладах реалізована, наприклад, при стабілізації візирної вісі нівелірів і оптичного індекса вертикального круга за допомогою різних конструкцій компенсаторів. В розвиток цього важливого напрямку значний вклад внесли В. І. Чуриловський, Г. Ю. Стодолкевич, Н. А. Гусєв, І. М. Монченко, А. В. Мещеряков, М. С. Черемісін, Ф. Г. Кочетов. В 60-70-х роках А. І. Захаровим були розроблені і впроваджені в серійне виробництво найбільш сучасні конструкції приладів з компенсаторами при вертикальному крузі типів Т5К, Т15К, 2Т5К. Серійне виробництво точних теодолітів типів Т2, Т5 і їх модифікацій (автоколімаційні та інші) здійснюються в Росії Уральським оптико-механічним заводом в м. Єкатеринбург.

На Україні розробка і виготовлення геодезичних приладів в післявоєнний період велись на двох великих заводах: Київський завод „Арсенал” і Харківський завод маркшейдерських інструментів.

В 1948р. на „Арсеналі” розроблена більш жорстка, легка і стійка металева підставка для мензули. Нова підставка широко застосовувалась на топографічних роботах замість мензули МШВ виробництва заводу „Геофізика”. З 1958р. в серійне виробництво запущені мензульний комплект з кіпрегелем-автоматом КА-2, розроблений під керівництвом І. М. Монченка, який і до цього часу застосовується при топографічних зйомках крупних масштабів.

В 60-х роках на „Арсеналі” розроблений теодоліт ТБ-1, який по своєму призначенню, конструкції і точності стоїть в одному ряду з точними теодолітами типу Т2. Модифікацією теодоліту ТБ-1 став теодоліт ТБ-3 з автоколімаційним окуляром Монченко з переривистими штрихами, який широко застосовувався в точному машинобудуванні. Автоколімаційні окуляри конструкції Монченко мають і сьогодні впровадження в автоколімаційних теодолітах типу Т2А.

На початку 70-х років завод „Арсенал” освоїв випуск технічних нівелірів. Нівеліри НЛС-1, і НЛ-3 застосовувалися для інженерних вишукувань і проектних робіт, де перевищення визначались як горизонтальним, так і похилим променем візування. Середня квадратична похибка на 1км. ходу не перевищувала відповідно ± 30 мм і ± 50 мм; в діапазоні температур від -40° до $+50^\circ$ С. Для нівелювання при висотному забезпеченні топографічних зйомок, при інженерно-геодезичних вишукуваннях і будівництві випускались технічні нівеліри НТ, НТК, НТСК, Н-10, Н-10КЛ. Останній з компенсатором і горизонтальним лімбом для вимірювання кутів з похибкою відліку $0,1^\circ$ забезпечує середню квадратичну похибку вимірювання перевищення на 1км подвійного ходу 10мм.

В кінці 70-х років значна номенклатура геодезичних приладів розробки заводу „Арсенал” передається для виготовлення на Ізюмський приладобудівний завод у Харківській області. „Арсенал” продовжує спеціалізуватись на розробці і виготовленні спеціальних геодезичних приладів. На заводі розробляються оптичні квадранти КО-6.0, КО-10, КО-2, гоніометри Г5, Г2 і Г1, а під керівництвом канд.

техн. наук О. І. Ванюрихіна створюється лазерний гоніометр з середньою квадратичною похибкою вимірювання кутів $0,1''$. Особливо значний вклад в створення фотоелектричних автоколіматорів, автоматичних систем горизонтування і гіротеодолітів різних по конструкції і точності вніс доктор технічних наук С. П. Пазняков, з яким автор мав щасливу можливість плідно співпрацювати впродовж 20 років. Наприклад, десятки типів фотоелектричних автоколіматорів забезпечували автоматичне вимірювання кутів (в діапазоні $\pm 2,5^\circ$) з середньою квадратичною похибкою в межах $1''$, а комплекти гірокомпасів і гіротеодолітів для автономного визначення астрономічних азимутів орієнтирних або заданих напрямків на місцевості мали середню квадратичну похибку від $30''$ (гірокомпас 1Г17) до $3''$ (гіротеодоліт ГТЗ).

В 90-х роках завод удосконалив і успішно освоїв випуск геодезичних приладів нового покоління:

- 1) високоточного нівеліра Н-0,5К з оптичним мікрометром для визначення перевищень з середньою квадратичною похибкою $0,2\text{мм}$ на 50м , що застосовується при вимірюваннях деформацій споруд, фундаментів, зміщень земної кори в місцях

- гірничих розробок, при монтажі кораблів, літаків, турбін;
- 2) точного нівеліра Н-3КЛ для визначення перевищень з похибкою 2 мм на 100м при нівелюванні в полігонометрії і інших інженерно-геодезичних роботах;
 - 3) приладу високоточного вертикального проектування (ПВВП) з компенсатором і відносною похибкою передачі координат 1:200000;
 - 4) лазерних приладів: нівелірів, приладів вертикального проектування та інших на базі власної розробки малогабаритного лазера.

На Харківському заводі маркшейдерських інструментів розроблений ряд теодолітів для роботи в маркшейдерії: малий оптичний теодоліт ТОМ; теодоліт гірничий ТГ-5; оптичний маркшейдерський теодоліт ОМТ-30; теодоліт Т-20 та інші. Там же, під керівництвом А. В. Мещерякова виготовляють конструкції нівелірів НСМ-2, НСМ-2А, НЗК-1 з компенсаторами, що мали широке впровадження в підземних і наземних роботах. Для зйомки підземних камер виготовляються далекомір подвійного зображення з змінним базисом при інструменті

(Д1М) і деякі конструкції кутомірів – тахеометрів гірничих.

На початку 90-х років в м. Вінниці створено завод „Аерогеоприлад”, який виготовляє велику номенклатуру комплектуючого приладдя і спеціальних геодезичних приладів і знаходиться в пошуку нових перспективних розробок.

4. Принцип Ферма. Основні закони геометричної оптики. Повне внутрішнє відбиття.

Основним геометрично-оптичним принципом є принцип Ферма. Він стверджує, що світло розповсюджується із однієї точки в іншу по відстані, що потребує мінімального часу порівняно з будь-яким іншим геометричним можливим шляхом між цими точками.

Всі основні закони встановлені дослідним шляхом. Їх всього чотири:

1. Закон прямолінійного розповсюдження світла.
2. Закон незалежного розповсюдження світла.
3. Закон відбиття.
4. Закон заломлення і повного внутрішнього відбиття.

Лекція №2

5. Плоске дзеркало. Система двох дзеркал: паралельних і між якими є кут.

Дзеркало – це оптична деталь, обмежена однією відбиваючою поверхнею (плоскою, сферичною, або асферичною).

Дзеркало може бути:

а). з зовнішнім відбиттям.

\vec{n} - нормаль.



Рис.2.1. Дзеркало із зовнішнім відбиттям

б). з внутрішнім відбиттям.

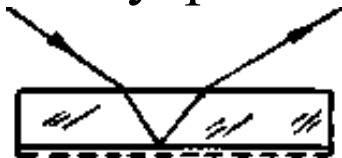


Рис 2.2. Дзеркало із внутрішнім відбиттям

З курсу оптики відомо правило: при нахилі нормалі дзеркала на кут α відбитий промінь змінить свій напрям на кут 2α . Це є в основі підвищення точності всіх автоколімаційних приладів.

Якщо між паралельними відбиваючими площинами проходить промінь, то падаючий і вихідний промені будуть паралельні, але матимуть зміщення, яке буде характеризуватися

величиною відстані α між дзеркалами і кутом падіння променя. На цьому принципі побудований геодезичний прилад – екер, де кут між дзеркалами є 45° , а тому кут між падаючим і відбиваючим променями дорівнює 90° .

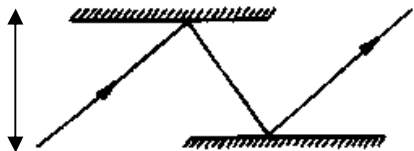


Рис.2.3. Паралельні відбиваючі площини

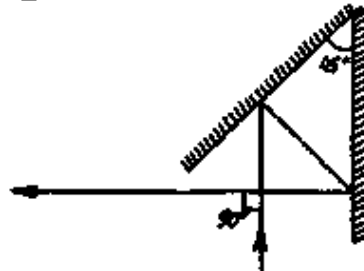


Рис.2.4. Принцип еккера

6. Лінзи. Їх види. Оптичні деталі з плоскими заломлюючими поверхнями.

Лінза – прозора оптична деталь, обмежена двома заломлюючими поверхнями (або однією плоскою і однією сферичною поверхнею).

Лінзи найбільш поширені оптичні деталі. Вони бувають двох типів: позитивні (збиральні) і негативні (розсіювальні).

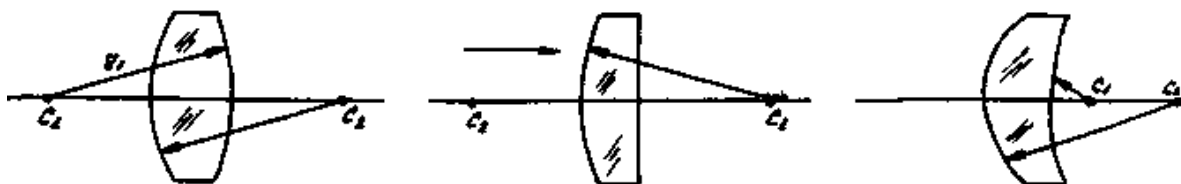


Рис.2.4.

- а). двовипукла лінза в). меніск позитивний
 б). випуклоплоска

Відповідно до позитивних є негативні лінзи:

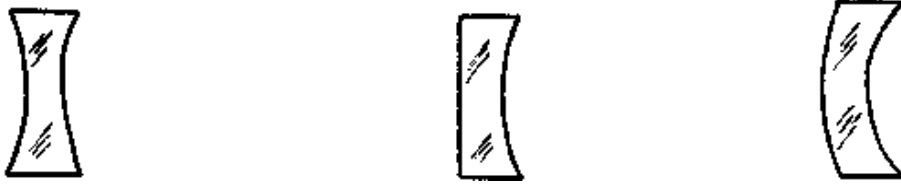


Рис.2.5.

- а). двовгнута лінза в). меніск негативний
 б). плосковогнута

Пряма $C_1 C_2$, що з'єднує центри сферичних поверхонь лінз, або перпендикуляр, опущений із центра сфери на плоску поверхню лінзи, називається оптичною віссю лінзи.

Лінза збирає падаючі промені в одну точку, що лежить на оптичній вісі. Цю точку називають фокусом, а відстань f – фокусною відстанню лінзи.

Відношення $\frac{1}{f} = D$ називається оптичною силою лінзи.

За одиницю вимірювання оптичної сили приймається діоптрія, що дорівнює фокусній відстані 1м.

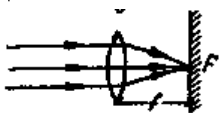


Рис.2.6. Фокусна відстань лінзи

Оптичні деталі з плоскими заломлюючими поверхнями.

Якщо в оптичній деталі дві поверхні (плоскі і паралельні),то така деталь називається пластиною.

В приладах пластини використовують:

- а). як світлофільтри – для зміни щільності;
- б). як шкала – для вимірювання;
- в). як сітка – для спостереження.

7. Види призм. Відбивні призми, їх застосування, позначення і типи. Оптичний клин.

Призмою називається оптична деталь, що обмежена заломлюючими, відбиваючими плоскими поверхнями, розташованими під кутом одна до одної.

Призми розподіляються на:

1. Відбивні призми, що використовуються в геодезичних приладах для:

- а). зміни напрямку оптичної вісі (ломана вісь в астрономічному універсалі);
- б). зміни напрямку лінії візування (окулярна призма оптичного мікрометра);
- в). обернення зображення;
- г). Поділу зображення в полі зору.

2. Для заломлення променя в далекомірах на постійний кут.

Відбивні призми позначають двома буквами і числом градусів, на який відхиляється промінь. Перша буква вказує число відбиваючих граней (А – 1 грань, Б – 2 грані, В – 3 грані). Друга буква характеризує геометрію призми (Р – рівнобедрена, С – ромбічна, П – пентапризма).
Основні типи призми:

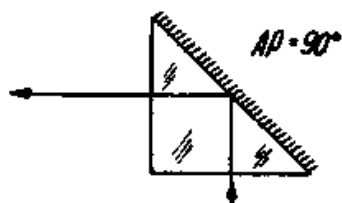


Рис.2.7.

а). прямокутна з однією відбиваючою гранню – вона змінює напрям на 90^0 і дає дзеркальне зображення.

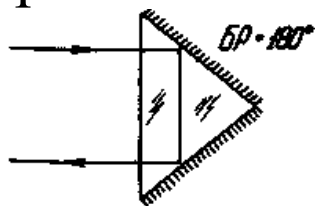


Рис.2.8.

б). прямокутна з двома відбиваючими гранями - змінює напрям на 180^0 , зберігає вид зображення.

Призма широко використовується в автоколімаційних вимірюваннях, так як має особливу властивість: при обертанні навкруги ребра вихідний промінь не змінює свого положення.

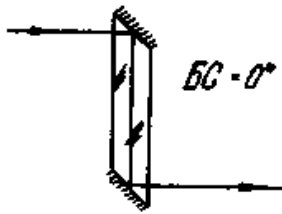


Рис.2.9.

в) призма – ромб – нічого не змінює , зміщує зображення

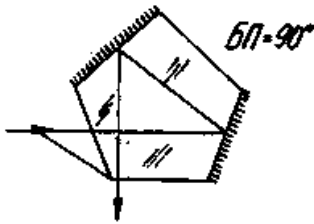


Рис.2.10.

г) пента призма – змінює напрям на 90^0 і дає пряме зображення.

Якщо кут між заломлюючими поверхнями $< 5^0$, то така призма називається клином. Відомо, що кут відхилення клину дорівнює:

$$\xi = \theta(n-1) \quad (2.1), \quad \text{де}$$

θ - заломлюючий кут клинка;

n - показник заломлення клинка.

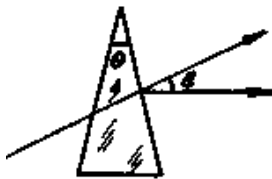


Рис 2.11. Оптичний клин

8. Центрована і ідеальна оптичні системи. Кардинальні площини і точки. Телескопічна система.

Реальні оптичні системи мають мінімум одну лінзу (це дві заломлюючі поверхні), а частіше системи мають комбінацію лінз. Оптична система із декількох заломлюючих поверхонь називається центрованою оптичною системою, якщо центри поверхонь оптичних деталей розміщені на одній прямій, що називається головною оптичною віссю системи. Іншими словами, оптична вісь системи – це пряма, що проходить через оптичну систему без заломлень.

Гаус створив теорію ідеальної оптичної системи, тобто системи, в якій зберігається гомоцентричність пучків і зображень, геометрично подібних предмету. В ідеальній оптичній системі зображення відтворює предмет без перекручення. Ідеальна оптична система може бути здійснена, якщо в центрованій оптичній системі запровадити параксіальну область.

Параксіальна область – це промені, які проходять близько до центрального променя.

Теорія ідеальної оптичної системи Гауса встановлює декілька кардинальних площин і

кардинальних точок. Для ознайомлення з ними будь-яку оптичну систему зручно представити у вигляді двох поверхонь.

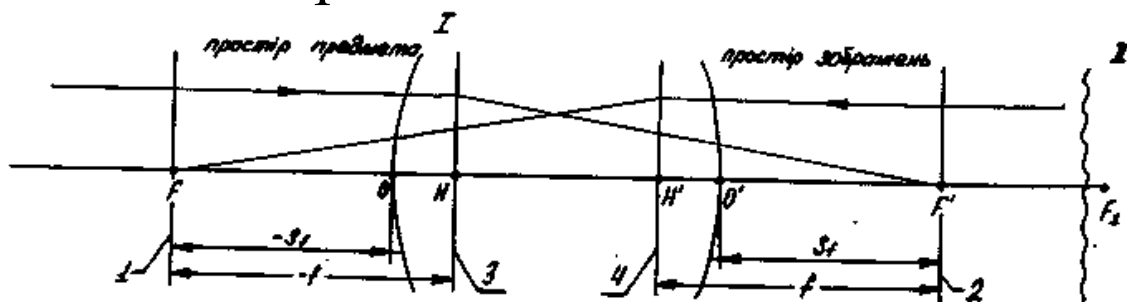


Рис 2.12. Оптична система

Першу, з вершиною в т. O — точка перехрещення сферичної заломлюючої поверхні з оптичною віссю, останню — з вершиною в т. O' — точка перехрещення сферичної заломлюючої поверхні з оптичною віссю.

Точки, в яких перехрещуються заломлені промені, паралельні оптичній вісі, називаються відповідно:

F' - заднім фокусом (для променів що йдуть з простору предметів);

F - переднім фокусом (для променів що йдуть з простору зображень).

Площини, що проходять через передній і задній фокуси, перпендикулярні оптичній вісі, називають відповідно:

1 - передньою фокальною площиною;

2 - задньою фокальною площиною.

Заломлюючу дію всіх поверхонь оптичних деталей, що можуть бути в оптичній системі,

можна звести до однієї площини. Для променів, що йдуть з простору предметів, це передня головна площина – 3; для променів, що йдуть з простору зображення, - задня головна площина – 4. Перетин цих площин з оптичною віссю дає передню H і задню H' головні точки.

Важливими також є відстані і відрізки: передня фокальна відстань - f , задня фокальна відстань - f' ; s_F - передній фокальний відрізок, $-s_{F'}$ - задній фокальний відрізок.

Якщо оптичну систему представити з двох сферичних поверхонь, то відстань між заднім фокусом першої оптичної системи (т. F') і переднім фокусом другої оптичної системи (т. F) називають оптичним інтервалом $FF' = \Delta$.

Телескопічною (афокальною) системою називають оптичну систему, в якій інтервал $\Delta = 0$. До телескопічної системи можна віднести зорову трубу, що сфокусована на нескінченність.

Фокусна відстань телескопічної системи:

$$f_{m.c.} = \frac{e_1 \cdot e_2}{0} = \infty \quad (2.2), \text{ де}$$

b_1 і b_2 - проєкції точок телескопічної системи

Це означає, що паралельний пучок променів, який йшов паралельно з просторовим предметом, після заломлення в системі залишається паралельним.

Головні точки телескопічної системи також знаходяться в нескінченності. В такій системі апертурною діафрагмою буде оправа об'єктива. Вона ж буде і вхідною зеницею (Д). Зображення цієї діафрагми в просторі зображень буде вихідною зеницею оптичної системи (d).

Відношення $\frac{D}{d}$ називається кутовим збільшення оптичної системи (Γ^x). Відношення $\frac{d}{D}$ називається лінійним збільшення оптичної системи (β).

$$\Gamma^x = \frac{D}{d} \quad (2.3) \quad , \text{ де } \Gamma^x \text{ – кратність;}$$

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (2.4)$$

$$\theta = \frac{D}{f} \quad (2.5)$$

Відношення $\frac{D}{f}$ називається відносним отвором оптичної системи.

9. Лупа. Об'єктив, його характеристики. Види об'єктивів.

Телеоб'єктив.

Лупа є найбільш простим оптичним приладом. Вона може бути однолінзовою, багатолінзовою. Останні дають більше збільшення і менші аберації. Видиме збільшення лупи підраховується за формулою:

$\Gamma_n^x = \frac{250_{\text{мм}}}{f_{\text{мм}}} \quad (3.1)$, де 250мм – найкраща відстань

до ока.

Лупи застосовуються для зняття відліків в геодезичних приладах з верньєрами.

Об'єктив - це оптична система, що повернена до предмета. В більшості об'єктиви дають дійсне зображення і є довгофокусними.

Основними характеристиками об'єктивів є:

1. Фокусна відстань об'єктива $f_{\text{об.}}$;
2. Відносний отвір об'єктива $\frac{D}{f} = \frac{1}{5} \div \frac{1}{10} = \theta$;
3. Кут поля зору $2W$.

Діаметр об'єктивів знаходиться в межах 30-65мм. Інколи можуть бути 100мм.

Для зменшення аберації об'єктиви роблять з декількох лінз із різних сортів скла з різними радіусами кривизни. Наведемо деякі основні види об'єктивів:

1 – дволінзовий склеєний (застосовуються в приладах з малою і середньою точністю);
 $2W=10^0$; $f=300-360\text{мм}$.

2 – дволінзовий з повітряним проміжком (застосовуються в теодолітах більш високої точності); $2W=40^0$; $f=520\text{мм}$.

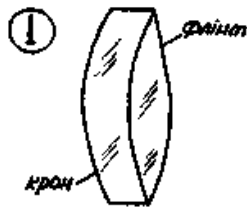


Рис 3.1. Дволінзовий склеєний об'єктив



Рис.3.2 Дволінзовий об'єктив з повітряним проміжком

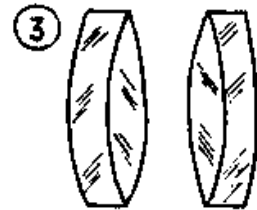


Рис.3.3. Багатолінзовий об'єктив з повітряним проміжком

3 - багатолінзовий з повітряним проміжком (для виключення аберацій). Аберация – перекручення зображення.

Телеоб'єктив призначається для збільшення фокусної відстані без збільшення розмірів зорової труби. В цій оптичній системі об'єктив доповнюється фокусуючою лінзою, яка знаходиться на відстані d від об'єктива. Фокусна відстань телескопічної системи розраховується за формулою:

$$f_{т.с.} = \frac{f_{об.} \cdot f_{ф.л.}}{f_{об.} \cdot f_{ф.л.} - d} \quad (3.2)$$

10. Окуляр, його характеристики. Види окулярів. Мікроскоп.

Окуляр це оптична система, що знаходиться перед оком спостерігача, служить для розгляду зображення предмета, що дає об'єктив, під більшим кутом поля зору.

Основні характеристики окуляра:

1. Фокусна відстань окуляра $f_{ок.} = 7-15 \text{ мм}$;
2. Збільшення окуляра $\Gamma_{ок}^x$;

3.Кут поля зору $2W$;

4.Діаметр вихідної зениці $d_{\text{вих.}}$;

5.Положення вихідної зениці $P=8\text{мм}$

Окуляр – це ширококутова оптична система, яка складається з польової лінзи (колектива 1), окувої лінзи 2, що знаходиться з боку ока.

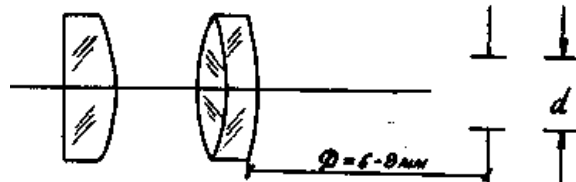


Рис.3.4. Окуляр

Вихідна діафрагма знаходиться на відстані $P=6-8\text{мм}$. Відстань P необхідна для того, щоб вії спостерігача не заважали дивитися в окуляр. Збільшувати відстань P не бажано, тому що буде віньєтування, тобто затемнення по краям поля зору. Положення відстані P можна вирахувати за формулою:

$$P = f_{\text{ок.}} \left(1 - \frac{1}{\Gamma_{\text{ок.}}} \right) \quad (3.3)$$

Всі окуляри роблять складними, тобто із багатьох лінз. Це роблять для зменшення аберації. Окуляр монтують в одній оправі, яка може переміщуватись уздовж оптичної вісі, це необхідно для встановлення різкості сітки ниток на око спостерігача.

Основні види окулярів, що мають місце в геодезичних приладах:

1. Окуляр Рамсдена – застосовуються, в основному, в мікроскопах геодезичних приладів. $P = 0,3 \cdot f_{ок.}$



Рис.3.5. Окуляр Рамсдена

2. Окуляр Кельнера – застосовується в теодолітах малої і середньої точності.

$$P = 0,5 \cdot f_{ок.}$$

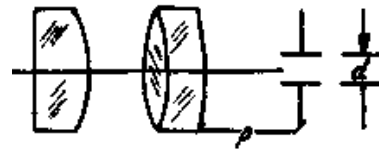


Рис.3.6. Окуляр Кельнера

3. Симетричний окуляр – застосовується в більшості сучасних геодезичних приладів.

$$P = 0,77 \cdot f_{ок.}$$

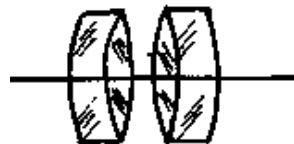


Рис.3.7. Симетричний окуляр

Крім наведених, є більш складні окуляри: ортоскопічний (в далекомірах), земний (для розгляду земних предметів).

Мікроскоп має об'єтив і окуляр.

Збільшення мікроскопа:

$$\Gamma_M^X = \Gamma_{окуляра}^X \cdot \Gamma_{об'єктива}^X \quad (3.4)$$

По відношенню до лупи мікроскоп має:

1. Більше збільшення;
2. Більшу робочу відстань до ока;
3. В площині зображення можна поставити сітку і по ній вести вимірювання.

В геодезичних приладах мікроскопи використовують в якості:

1. Мікроскоп-лупа;
2. Відліковий мікроскоп;
3. Шкаловий мікроскоп;
4. Мікроскоп-мікрометр та ін.

11. Оптична система зорової труби. Типи фокусування.

Оптична система зорової труби складається з об'єктива, окуляра, фокусуючої лінзи і скляної пластинки (сітки ниток).

Конструктивно зорові труби можуть мати об'єктив і окуляр як позитивні лінзи (труба Кеплера) і об'єктив – позитивна лінза, а окуляр – негативна (труба Галілея). Труба Галілея дає пряме, а труба Кеплера – обернене зображення.

Пряма, що проходить через центр об'єктива і центр перехрестя сітки ниток, називають візирною віссю.

Пряма, що проходить через центр об'єктива і центр окуляра, називають оптичною віссю.

Фокусування зорової труби полягає в суміщенні зображення предмету в площині сітки ниток.

Види фокусування.

Фокусування буває двох видів:

1. Зовнішнє – коли сітка ниток і окуляр рухаються одночасно. Таке фокусування застосовують в приладах більш старих конструкцій. Недоліком цих конструкцій є те, що змінюється довжина зорової труби. В середину зорової труби може попасти пил та ін. Такі прилади на сьогодні застосовують мало.

2. Внутрішнє – коли сітка ниток і окуляр не рухаються. Рухається тільки фокусна лінза (за допомогою кремальєри). При цьому зображення предмета фокусується в площину сітки ниток.

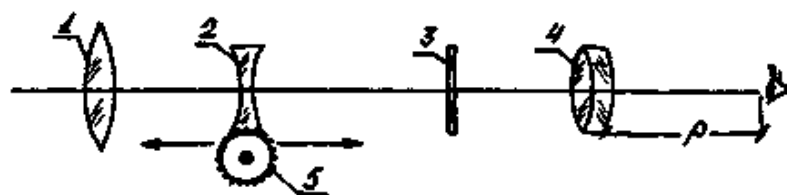


Рис.3.8. Зорова труба з внутрішнім фокусуванням

1. – об'єктив;
2. – фокусуюча лінза;
3. – сітка ниток;
4. – окуляр;
5. – кремальєра.

Переваги зорових труб з внутрішнім фокусуванням:

1. Постійна довжина;
2. Герметичність;
3. Малі розміри.

Недоліки зорової труби з внутрішнім фокусуванням:

1. Втрати світла (за рахунок фокусуючої лінзи);
2. При переміщенні фокусуючої лінзи може змінюватись напрям візирної вісі.

Лекція №4

12. Основні характеристики зорової труби, методи їх визначення.

Основними характеристиками зорової труби є:

1. Збільшення Γ^x ;
2. Кут поля зору $2W$;
3. Роздільна здатність α ;
4. Якість зображення.

Збільшення геодезичних приладів Γ^x знаходиться в межах ві 15 до 40 крат, інколи 50^x (для астрономічних приладів). Чим більше збільшення, тим менше поле зору β_0 .

Збільшення визначають за формулою:

$$\Gamma^x = \frac{D_{\text{ex}}}{d_{\text{вх}}} = \frac{f_{\text{об.}}}{f_{\text{ок.}}}; \quad (4.1) \quad \beta = \frac{1}{\Gamma^x} \quad (4.2)$$

Зорова труба зменшує лінійні розміри предметів, збільшуючи при цьому кут поля зору.

Методи визначення:

1. Шляхом вимірювання $D_{\text{вхід.}}$ і $d_{\text{вих.}}$.

2. В польових умовах, по рейці.

Кут поля зору.

Поле зору називають частину простору, що видна в нерухому зорову трубу. Поле зору обмежується круглим отвором – діафрагмою. Цією діафрагмою є діафрагма сітки ниток, що знаходиться в фокальній площині об'єктива.

Під полем зору зорової труби розуміють поле зору об'єктива. Воно знаходиться в межах $2W=5^{\circ}-6^{\circ}$.

Метод визначення: вимірювання по горизонтальному та вертикальному кругах.

Роздільна здатність характеризує здатність оптичної системи давати роздільно зображення двох малих предметів. Теоретично:

$$\alpha_{\text{теор.}} = \frac{\alpha_{\text{ока}}}{\Gamma^x} = \frac{60''}{\Gamma^x} \quad (4.3); \quad \alpha_{\text{ока}} = 60''$$

Роздільна здатність визначається по ДЕСТованих шкалах-мірах. Шкала-міра являє собою шкалу квадратів, що мають штрихи з різними відстанями у чотирьох напрямках.

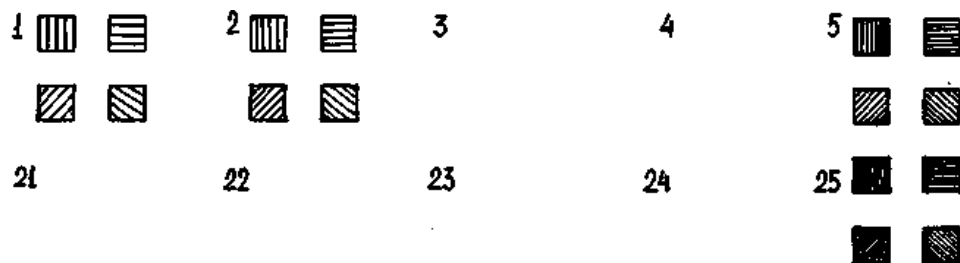


Рис.4.1. Шкали міри

На практиці ця шкала розташовується в фокальній площині коліматора.

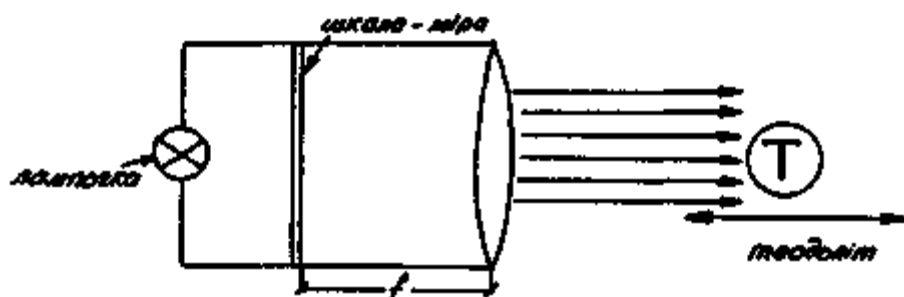


Рис.4.2. Коліматор

Коліматор - це такий геодезичний прилад, який має об'єктив в фокальній площині якого може бути встановлена діафрагма, світлова щілина або інший предмет, що розглядається. З коліматора завжди виходить паралельний пучок променів. Тому незалежно на якій відстані від коліматора встановлено геодезичний прилад. В горизонтальну трубу спостерігають шкалу-міру. Той квадрат, де бачать штрихи всіх чотирьох напрямків роздільно, буде визначати роздільну здатність. Ця величина (роздільна здатність квадрату) береться з паспорта.

В лабораторних умовах, де відсутній коліматор, визначення ведеться по такій же

шкалі-мір; але вимірюється відстань від приладу до шкали, відстань між штрихами шкали-міри. Потім за формулою:

$$\alpha'' = \frac{a}{s} \rho'' \quad (4.4), \text{ де}$$

a – мінімальна відстань між двома штрихами шкали-міри;

s – відстань від приладу до шкали-міри.

Якість зображення.

Її можна визначити , якщо в фокальній площині коліматора розташувати круглу діафрагму маленького отвору .Тоді при спостереженні в геодезичний прилад на всьому полі зору ця точка має бути видна чітко , без ореолів ,хвостів , фарбування (забарвлення).

В реальних умовах якість зображення можна перевірити в ночі по яскравій зірці.

13. Кутомірні круги і лінійні шкали . Спосіб їх виготовлення.

Кутомірні круги (лімби) відносяться до середньої частини теодоліта .Раніше лімби виготовляли металевими (латунь, бронза, алюмінієві сплави). Тепер лімби виготовлюють виключно із оптичного скла, наприклад, на

металеві можна було нанести штрихи товщини 0,1 мм, коли на склі –2-8 мкм ,тобто в 20 разів тонше. Товщина скла лімбів приблизно 2-5 мм., паралельність їх поверхонь – в межах 10”.

Діаметр лімбів різний :

- у теодолітів малої і середньої точності – 70-100 мм;
- у теодолітів високої точності –250 мм;
- в астрономічних теодолітах –700 мм.

Чим більше діаметр , похибка нанесення штрихів буде зменшуватись . Конструктивно штрихи в полі зору розглядають двома методами :

а) у прохідному світлі :

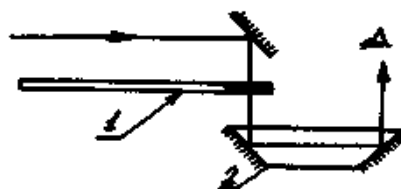


Рис.4.3. Лімб у прохідному світлі
1- лімб зі штрихами;
2-оптичний елемент.

б) у відбивному світлі:



Рис.4.4. Лімб у відбитому світлі

В цьому випадку оптичний елемент 2 має одну дзеркальну грань і одну напівпрозору грань.

Штрихи лімба підписуються в градусах (0° - 360°). Раніше були в градах ($360^{\circ}=400$ град).

Кутова величина між штрихами залежить від діаметра лімба і відлікового пристрою .

Оцифрування штрихів ведуть завжди за ходом годинникової стрілки , або зліва на право, або зверху в низ (для того щоб зменшити ймовірність невірною відліку).

Спосіб виготовлення

Всі способи нанесення штрихів на лімби або шкали повністю автоматизовані. Відмічають 3 способи нанесення:

1.Механічний.

На скляну пластинку наноситься шар бджолиного воску з подальшим травленням і кресленням штрихів або безпосереднім гравіруванням (для штрихів 5-6 мкм. товщиною). Для штрихів товщиною до 2 мкм. різцем прорізають шар спеціального лаку і на прорізані штрихи напиляють хром.

2.Фотографічний.

Заготовлюють в великому масштабі зразок шкали , фотографують і одержують зменшений негатив . При зменшені негатива зменшуються

похибки нанесення штрихів на оригіналі. З негатива ведуть копіювання на заготовку.

3. Фотомеханічний.

Заготовку шкали покривають світлочутливим шаром. Замість різця, що з часом затуплюється, використовують світлову щілину. Так можна отримати товщину штриха до 0,5 мкм. В США розроблена методика нанесення штрихів за допомогою лазерів з товщиною 0,1 мкм.

14. Поняття про похибки поділу кутів і методи їх визначення.

Всі операції по нанесенню штрихів повністю автоматизовані. Вони виконуються на розподілювальних машинах. В основі такої машини лежить еталонне зубчате колесо, різець, мікроскоп та інші точні оптико-механічні деталі. Зубчате колесо має кількість зубців кратне 360° (наприклад 1080, 1440). Це колесо має пристрій для рівномірного обертання. Під час його зупинки різець наносить штрих. Тиск різця всього 3 грами. Штрихи наносяться дуже близько один до одного. Наприклад, при нанесенні штрихів з кутовою поділкою 4° будемо мати 5400 штрихів. При діаметрі лімба 140 мм. відстань між штрихами буде дорівнювати 0,08 мм.

$R=140/2=70$ мм; $c=2PR=439.8$; $2PR/5400=0.08$ мм;
 $360^\circ(60'/4)=5400$ штрихів; $ПД/5400=0,08$ мм.

Колесо обертається повільно. За 1 хвилину наноситься менш 10 штрихів. Є лічильник кількості штрихів. Гарантується, що похибка між штрихами не повинна перевищувати 1",5. ці похибки обумовлені:

а) ексцентриситетом – незбіганням центрів обертання зубчастого колеса з еталонним лімбом або деформацією лімба при закріпленні його в оправу;

б) неточністю виготовлення зубчастого колеса або похибками черв'ячної передачі, тобто похибками роздільної машини;

в) коливаннями температури.

Похибки з пункту „а” будуть мати періодичний характер, тобто їх крива буде мати вигляд синусоїди.

Для виключення періодичних похибок ліній при вимірюваннях кута між прийомами різець переставляють на $180^\circ/n$, де n - кількість прийомів.

Похибки, викликані пунктом „б”, будуть мати короткоперіодичний характер, але вони по своїй величині будуть в 3 і більше разів перевищувати періодичні похибки. Це значить, що на якомусь інтервалі лімба може бути відстань між штрихами, значно більшою або, значно меншою

від нормативної. Ця похибка може проявитися при вимірюваннях кута якимсь одним прийомом. Якщо похибка проявляє себе неодноразово, то треба змінити установку лімба. Похибка з пункту „в” носять випадковий характер. Для їх дослідження необхідно було б за допомогою мікроскопа поміряти всі інтервали між штрихами. Але ця робота надто клопітна. Тому на виробництві використовують методи вимірювання еталонних кутів, по яких визначають випадкові похибки.

Лекція №5.

15. Типи і призначення відлікових улаштувань.

По типу відліку по лімбу улаштування розрізняють:

1. По верньєру (ноніусу);
2. По штриховому мікроскопу;
3. По шкаловому мікроскопу;
4. По мікроскопу з оптичним мікрометром.

Різні відлікові улаштування вирішують різні завдання. Це, як правило:

а) оцінка на око десятих частин інтервалу між штрихами лімбу;

б) коінцидентного сполучення штрихів (діаметральне сполучення).

Як правило, відлікові пристрої конструктивно розташовані поруч з зоровою трубою (для зручності зняття відліку). Нижче наведені відлікові пристрої.

Верньєр – допоміжна шкала, яка може переміщуватися вздовж основної шкали і служить для оцінки десятих частин основної шкали. На верньєрі на 1 штрих більше, ніж на лімбі, тобто сам інтервал між штрихами менший.

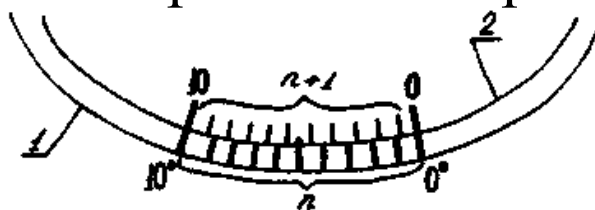


Рис.5.1. Принцип верньєра

1 – лімб;

2 – верньєр.

Верньєр - це прототип штангенциркуля.

$$n\tau' = (n-1)\tau$$

$$\tau' = \frac{(n-1)}{n}\tau \quad (5.2)$$

$$t = \tau - \tau' = \frac{\tau}{n}$$

τ' - ціна поділки верньєра; τ - ціна поділки лімба; n-число поділок верньєра; n-1 - число поділок лімба; t-точність верньєра.

Точність верньєра визначається:

$$a^\circ = \frac{\text{ціна найбільшої поділки на лімбі}}{\text{кількість поділок на верньєрі}}$$



Рис.5.2. Точність верньєра

$$a - \frac{1^\circ}{10} = 0,1'$$

Повірки верньєра:

1) При сполученні першого штриха останній також має збігатися;

2) Між шкалою лімба і шкалою верньєра зазор не повинен перевищувати половину товщини штриха.

Штриховий мікроскоп.

Він є найпростіший із сучасних оптичних відлікових пристроїв. Тут на сітку ниток наноситься штрих, що є індексом. Він знаходиться в площині зображення об'єктива мікроскопа на скляній пластинці. Оцінка десятих долей виконується до 0,1 поділки на око.

Така конструкція застосована в технічних теодолітах Т-30 і Тн-51 фірми „Opton”.

Слід звернути увагу, що при такій конструкції знімають відліки тільки по одному краю лімба, тобто ексцентриситет не виключається.



Рис.5.3. Штриховий мікроскоп

Повірки і вимоги.

1.Зображення штрихів круга і штриха індексу повинні спостерігатися однаково чітко;

2.Штрих-індекс повинен розташовуватись паралельно штрихам круга (лімба).

Шкаловий мікроскоп.

Шкаловий мікроскоп –сучасний відліковий пристрій, який використовується в точних теодолітах типу Т5. Тут в фокальній площині мікроскопа на скляній пластинці встановлюють шкалу, довжина якої повинна відповідати відстані між сусідніми штрихами лімба.

Невідповідність довжини шкали найменшому видимому інтервалу лімба називається реном.

Рен можна змінити завдяки регулюванню збільшення мікроскопа. Точність відліку по цьому мікроскопу – $0,1'$.



Відлік : $5^{\circ}22,8'$.

Рис.5.4. Шкаловий мікроскоп

Вимоги до шкалового мікроскопу.

1.Рен має бути відсутній або знаходитись в допустимих межах.

2.Штрихи лімба і штрихи мікроскопа мають бути видно чітко при одному положенні окуляра мікроскопу, тобто повинен бути відсутній паралакс.

Така конструкція застосовується також в теодолітах Theo-020 фірми “Opton” і T16 фірми “Вільд”.

Крім наведених вище є конструкція мікроскопа з гвинтовим мікрометром. Вона застосовується в теодоліті ТТ2/6 (теодоліт триангуляційний). Така конструкція ще й сьогодні є в астрономічних приладах. Мікроскоп точний, але складний.

Найбільш сучасний відліковим улаштуванням є мікроскоп з оптичним мікрометром. Він застосовується в найбільш точних теодолітах Т1, Т2, Т0,5 а також в теодоліті Theo-010 фірми “Opton”.

Принцип дії мікроскопа з оптичним мікрометром полягає в тому, що за його допомогою відслідковують переміщення зображення ділянки шкали лімба.

Конструктивно мікроскоп з оптичним мікрометром має вигляд мінімум одного, а частіше 2 рухомих оптичних клинків, які при переміщенні барабаном оптичного мікрометра одночасно переміщують шкалу з поділками. Ця шкала має 600 поділок (10х60 штрихів-секунд, тобто 10'х60").

Переваги мікроскопа з оптичним мікрометром:

1. Більш висока точність по відношенню до всіх інших;

2. Зручність в користуванні, так як окуляр оптичного мікрометра знаходиться поруч з окуляром зорової труби.

Оптичний мікрометр може бути конструктивно виготовлений так, що рухомий елемент може бути виконаний як:

а) плоско паралельна пластинка, що обертається відносно нерухомої вісі;

б) оптичний рухомий клин, що переміщується паралельно оптичній вісі;

в) обертаючий оптичний клин;

г) лінза, що переміщується перпендикулярно оптичній вісі та інше.

Оптичний мікрометр в точних теодолітах (наприклад в Т1, Т2, Т05) виконується у вигляді двох пар клинків: одна пара рухома, друга – нерухома. При цьому одна і друга пара мають клинки з однаковим кутом захоплення та орієнтовані один до одного так, що захоплюючі ребра направлені в протилежні сторони.

Оптичний мікрометр нівеліра.

В точних нівелірах застосовується мікрометр, який виконаний у вигляді плоско паралельної

пластинки , що обертається перед об'єктивом на певний кут i . Так як пластинка плоско паралельна і знаходиться в паралельних пучках променів , то, відповідно до законів фізики , вона зміщує зображення рейки на величину h .

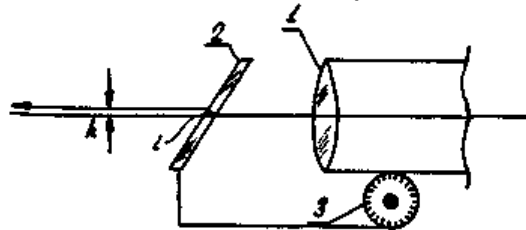


Рис.5.5. Оптичний мікрометр нівеліра

1-об'єктив нівеліра;

2-плоско паралельна пластинка;

3-барабан що нахиляє плоско паралельну пластинку.

Відлік по шкалі барабана змінюється від 0 до 100 поділок. При поділці рейки , на яку ми візуємо , яка , наприклад, має 5 мм, похідній поділці шкали буде відповідати зміщення h по рейці 0,05мм, коли 10мм – $h=0,1$ мм. Така конструкція застосовується в точному нівелірі Н 1. Вона дає можливість більш точного зняття відліку по рейці. Наприклад, якби не було цієї пластинки, то ми десяті частини відліку знімали б на око, а при її наявності, знаючи ціну однієї поділки барабана і кількість поділок барабана, - більш точно визначаємо точність відліку.

16. Рівні геодезичних приладів, їх призначення. Види ампул.

Рівні в геодезичних приладах призначені для приведення вісі приладу в горизонтальне чи вертикальне положення, а іноді і для вимірювання кутів нахилу.

За принципом дії рівні розрізняють рідинні і електронні. За конструктивним виконанням рідинні рівні поділяють на круглі і циліндричні. Круглі - для грубого горизонтування; циліндричні – для точного горизонтування і для вимірювання кутових відхилень. Електронні рівні або приводять прилад в горизонтальне положення (автоматично), або точно вимірюють кут нахилу в невеликому діапазоні з точністю до десятих, сотих долей секунд. Електронні рівні повністю автоматизовані.

Види ампул. Відповідно ДЕСТу на ампули, в геодезичних приладах застосовують 4 типи ампул:

АК – ампула кругла;

АЦП – ампула циліндрична проста;

АЦР - ампула циліндрична регульована;

АЦК - ампула циліндрична компесаційна.

Три останні застосовуються в циліндричних рівнях.

АЦП має поділки двох типів:



Рис.5.6. Поділки ампул циліндричних рівнів

а). Для вимірювання нахилу (поділки розташовані по всій довжині ампули);

б). Тільки для горизонтування (поділки даються по краях).

Відстані між штрихами в усіх рівнях – 2мм.

АЦР має в середині перегородку 1, яка дозволяє при збільшенні чи зменшенні довжини бульбашки регулювати її розмір. Для цього необхідно ампулу нахилити в одну чи в іншу сторону.



Рис.5.6. Ампули АЦР, АЦК

АЦК має в середині компенсаційну паличку 1, яка при змінах температури сприймає на себе температуру, не дає можливості змінюватись бульбашці рівня.

Всі ампули заповнюються спирто-ефірними сумішами, що можуть бути зафарбовані жовтим або іншим кольором.

17. Круглий, циліндричний і контактний рівні, їх устрій.

Круглий рівень має такий устій:

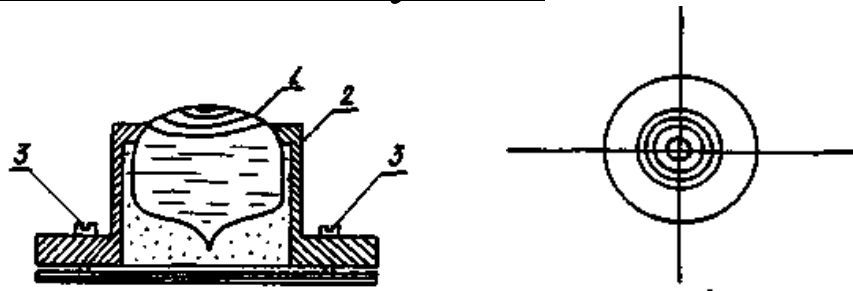


Рис.5.7. Круглий рівень

Скляна ампула 1, верхня частина якої відшліфована по сферичній поверхні, закріплена в металеву оправу 2. По центру сфери є круглі поділки. Відстань між цими поділками є ціною поділки рівня. Так як ці рівні є грубими, то їх ціна поділки знаходиться в межах 4'-8' і більше.

Ціна поділки кожного рівня залежить від радіуса шліфування внутрішньої поверхні ампули. Для грубих рівнів $R=0,8\text{м}$.

Нуль-пункт – це бульбашка в середині рівня при горизонтальному положенні посадочної площини. Юстування рівня виконують гвинтом 3.

Циліндричний рівень має такий устрій:

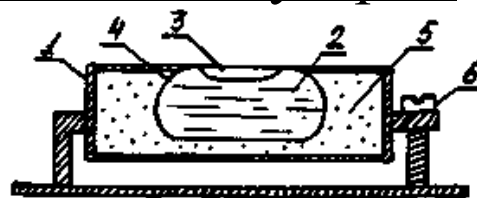


Рис.5.8.Циліндричний рівень

1 – оправу;

2 – ефір, що не замерзає при температурі -50°C ;

- 3 – бульбашка;
- 4 – скляна ампула з молібденового скла;
- 5 – гель або віск;
- 6 – юстувальний гвинт.

Скляна ампула в якій внутрішня поверхня відшліфована у вигляді діжкоподібного типу, вільно (без натягу) встановлена в оправу 1. Якість роботи рівня багато в чому залежить від якості шліфування внутрішньої поверхні ампули.

Циліндричні рівні мають два призначення:

- для горизонтування;
- для вимірювання кутів.

У деяких геодезичних приладах циліндричні рівні можуть бути зйомними, а в основному вони жорстко з'єднані з приладом.

Циліндричні рівні розташовані:

1. На корпусі приладу для приведення вертикальної вісі приладу в прямовисне положення, а приладу – в горизонтальне.
2. Рівні при вертикальному крузі для зняття відліку по відповідному індексу.
3. В деяких конструкціях теодолітів і нівелірів циліндричний рівень розташовується на зоровій трубі – для приведення її в горизонт.
4. В нівелірах для приведення візирної вісі зорової труби в горизонт.

Контактні рівні.

В конструкціях теодолітів для зняття відліку по вертикальному колу, а також у нівелірах без компенсаторів зображення циліндричного рівня передається в поле зору у вигляді двох половинок: нижньої і верхньої. У випадку їх контакту рівень знаходиться в горизонті.

а). рівень не в горизонті; б). рівень в горизонті.



Рис.5.9. Контактні рівні

Точність встановлення бульбашки в нуль пункт у контактному рівні в 5-6 разів вища, ніж у звичайних. Для регулювання довжини бульбашки на одному із кінців рівня є запасна камера, в яку можна перегоняти частину рідини.

Лекція №6

18. Ціна поділки рівнів.

Під ціною поділки рівня τ розуміють виражену в кутових секундах величину нахилу при зміщенні бульбашки рівня на одну поділку, тобто на 2мм. Чим вище точність рівня тим менша ціна поділки τ . Тоді рівень стає найбільш чутливим до зміни його положення.

Зміна чутливості залежить від таких параметрів:

1. Довжини бульбашки;
2. Якості шліфування внутрішньої поверхні;
3. Наповнювача ампули;
4. Температури рівня
5. Довжини і товщини ампули.

Під чутливістю рівня розуміють найменший кут, на який необхідно нахилити його вісь, щоб бульбашка перемістилась на ледве помітну незброєним оком величину.

Чутливість повинна відповідати точності приладу. В технічних теодолітах ціна поділки рівнів коливається в межах 15-60''.

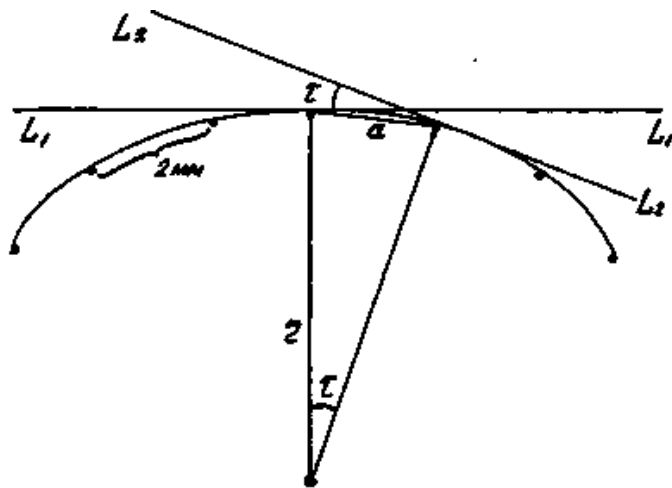


Рис.6.1. Ціна поділки рівня

Звичайно довжина і товщина ампули мають відношення $\frac{1}{6} \div \frac{1}{9}$. Відповідно до ДЕСТ τ може бути 10'', 15'', 20'', 30'', 60'', 2'. Найбільш точні ампули мають величину $\tau = 2''$ і навіть, 1''. Співвідношення τ визначається за формулою:

$$\tau = \frac{a}{r} \rho^n \quad (6.1)$$

Значення r знаходиться в межах від 1 до 80м.

19. Методи визначення ціни поділки рівня.

Їх практично є два: польовий – спосіб Комстока; лабораторний – на екзаменаторі.

Перший спосіб передбачає в польових умовах встановлення рейки на відстані S від геодезичного приладу. Один з підймальних гвинтів встановлюють по напрямку на рейку. Величина $S=20-50$ м. Цим підймальним гвинтом переміщують бульбашку в інтервалі рівня і знімають відліки по рейці. Ціна поділки буде визначатись за формулою:

$$\tau = \frac{(l_n - l_1) \rho^n}{(n_n - n_1) S} \quad (6.2), \text{ де}$$

$l_n - l_1$ – відліки по рейці;

$n_n - n_1$ – кількість поділок ампули.

Найбільш точним є метод визначення ціни поділки на екзаменаторі. Екзаменатор – спеціальний прилад, який має лагери під рівень, підймальні гвинти і вимірювальний гвинт. Крок вимірювального гвинта має тонку різьбу, крок якої вибирають в залежності від довжини штанг і екзаменатора.

Екзаменатори можуть бути 2-х секундними і 10-секундними.

В залежності від кількості пройдених поділок при нахилі рівня, кількості штрихів на вимірювальному гвинту визначають ціну поділки.

20. Електронні рівні.

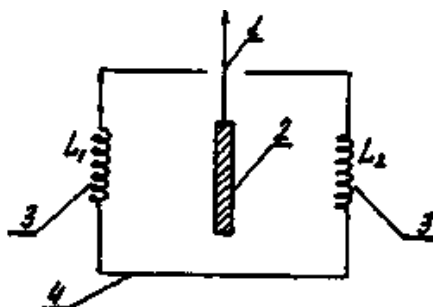


Рис.6.2. Принципова схема електронного рівня

- 1 – плоска пружина із берилієвої бронзи;
- 2 – маятник;
- 3 – дві катушки індуктивності L_1 і L_2 ;
- 4 – основа маятника.

Ця схема має доповнення у вигляді мостової схеми:

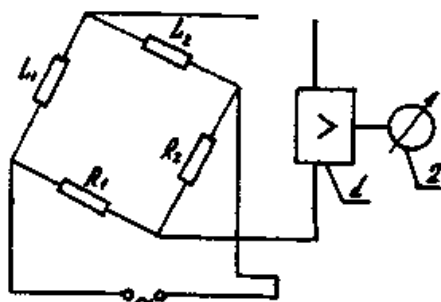
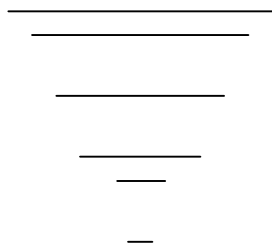


Рис.6.3. Мостова схема електронного рівня

- 1 – підсилювач ;
- 2 – прилад для вимірювання (амперметр, вольтметр);
- L_1 і L_2 - індуктивність;
- R_1 і R_2 - опори

Точність електронних рівнів може досягати $0''{,}01$. Принцип дії: при нахилі основи маятник 2 переміщується між катушками індуктивності. Різниця нахилів електронною схемою передається на вимірювальний прилад, який проградуєований в секундах. Якщо маятник 2 знаходиться посередині між катушками, то вимірювальний прилад покаже “0” і прилад буде знаходитись в горизонті.



IV семестр.

Лекція №7

21. Осьові системи геодезичних приладів.

Вимоги до осьвих систем.

По конструкції осьові системи можуть мати систему вертикальних осей ,яка дає:

- 1.Просте вимірювання кута (без перестановки лімба);
- 2.Повторювальна система осей (алідада може обертатись як разом з лімбом, так і окремо);

3. Теодоліт з вертикальними вісями, що дозволяє вимірювати кути у всіх комбінаціях (лімб переставляється від руки).

Відповідно до конструкції повторювальним теодолітом можна відповідно вести вимірювання кутів:

1. простого вимірювання кута між лівим і правим предметом;

2. способом повторень;

3. круговими прийомами і комбінаціями кутів.

У конструкції простого теодоліта лімб нерухомий, обертається тільки алідада.

Такі конструкції теодолітів застосовуються для малоточних робіт. В системі повторювального теодоліта алідада і лімб обертаються як окремо, так і разом. Для цього є закріплений гвинт алідади, що закріплює її з лімбом.

Така конструкція була розроблена Рейхенбахом. Конструкція має застосування в сучасних теодолітах з урахуванням доопрацювання її вченим Бордо, який виключив “увлечение” лімба за алідадою, що характерно для конструкції Рейхенбаха.

Найбільш сучасні конструкції осьових систем теодолітів мають можливість обертатись лімбу і алідаді окремо. При цьому лімб (осьовий круг)

може обертатись безпосередньо руками або рукою через трибку.

22. Основні конструкції вертикальних осей.

Раніше вертикальні осьові системи виготовляли конічні. При цьому втулку і вісь виготовляли з одного матеріалу. Знизу була пружина або шарик (шарикопідшипник), щоб розвантажити вісь і зробити роботу легкою. Сучасні конструкції мають циліндричну форму.

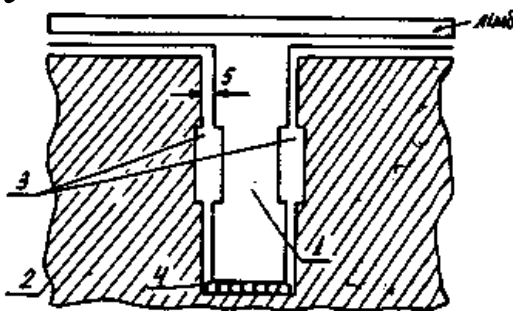


Рис.7.1. Сучасна конструкція вертикальної осі геодезичного приладу

- 1 – вісь;
- 2 – втулка;
- 3 – виступи;
- 4 – шарикопідшипник;
- 5 – зазор.

Вісь виготовляють з високосортної сталі, а втулку – з бронзи. Вісь і втулка виготовляється з виступами і їх величина має не більше 1 мкм. Туди (у виступ) потрапляє змазка.

Вимоги до вертикальних осьових систем:

1) Для забезпечення легкості і стабільності обертання осі мають бути довгими. Їх довжина має бути в 2-3 рази більше від товщини.

2) Вісь має вставлятись у втулку нещільно, а з певним зазором. Величина зазору $\approx 0,5\text{мм}$.

3) Доторкання вісі і втулки робиться не по всій висоті, а тільки окремими кільцями.

4) Вісь і втулка мають бути добре відшліфованими і відполірованими.

5) Між втулкою і віссю вводиться тонкий шар змазки (приблизно $0,5\text{мм}$).

Основні вимоги до вертикальних осьових систем до нівелірів:

За конструкцією вісь може бути циліндричною або конічною, як в теодолітах. Проте, висота вісі є значно меншою, тому і стабільність її обертання буде гіршою. Однак, похибки визначення перевищень не буде, тому що конструкція нівеліра має елеваційний гвинт, за допомогою якого при кожному наведенні на рейку положення візирної вісі виставляється перпендикулярно вісі циліндричного рівня.

Вплив невертикальності осьової системи на точність зняття відліку.

Похибку у відлік δ визначають за формулою:

$\delta = i \cdot \operatorname{tg} \beta$ (7.1), де

i - непертикальність осьової системи;

β - пертикальний нахил зорової труби при візуванні на предмет.

Наприклад, якщо непертикальність осьової системи $= 0,0015_{\text{мм}}$ (1,5 мкм) при довжині осьової системи $l = 0,8_{\text{м}}$, тоді $\delta = 4''$.

Якщо кут нахилу складає 2° , то похибка у відлік буде $0,034 \cdot 4'' = 0,1''$. Начеб-то ця величина є незначною, але слід враховувати, що вона не визначається при роботі при двох кругах (КЛ і КП). Тим більше, що вона залежить від кута β .

Тому, перед початком роботи необхідно перевірити правильність роботи пертикальної осьової системи. Це робиться так:

1) Перевіряється циліндричний рівень;

2) Слід відгоризонтувати прилад у двох взаємоперпендикулярних напрямках. При цьому слід враховувати, що прилад знаходиться в горизонті.

3) Обертають алідаду приблизно через $40-45^\circ$ і слідкують за положенням бульбашки рівня. Вона не повинна сходити з середини більше чим на 2 поділки.

23. Типи компенсаторів в нівелірах.

Компенсатор – це пристрій у самовстановивних нівелірах для автоматичного утримання ліній візування у горизонтальному положенні. Під час нахилу зорової труби на малий, до десятків мінут кут компенсації, компенсатор повертає лінію візування в горизонтальне сполуження, якщо кут нахилу перевищує допустиму величину кута компенсації, то компенсатор не працює.

- Теоретична сутність устроїв компенсації.

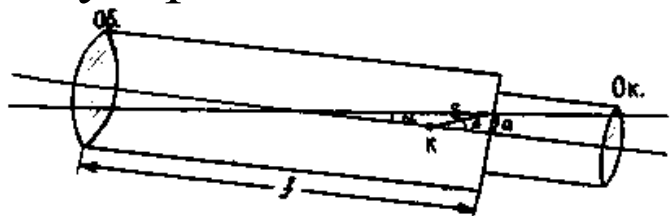


Рис.7.2. робота компенсатора

При нахилі зорової труби на кут α промінь переміститься вгору (або вниз) на величину $a = f \cdot \operatorname{tg} \alpha$ (7.2), або для малих кутів α : $a = f \cdot \alpha$ (7.2), де f - фокусна відстань. Щоб промінь не сходив з горизонтальної сітки ниток, необхідно:

- Змінити напрям візирного променя або положення сітки ниток.

Цього можна досягти за допомогою спеціального устрою – компенсатора, який розташовується в точці K_0 . Кут відхилення β має регулюватися таким чином, щоб задовільнити рівнянню:

$$\frac{f}{S} = \frac{\beta}{\alpha} = n > 2. \quad (7.4)$$

Величина $\beta/\alpha = n$ (7.5) називається збільшенням або кутового кратністю компенсатора і залежить від точки розташування компенсатора k . Взагалі може бути шість положень т. К(а, б, в, г, д, е):

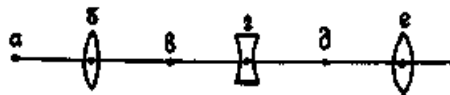


Рис.7.3. Положення точки К

Аналогічні пристрої, але з метою автоматичного утримання лінії візування у прямовисному положенні мають самовстановні оптичні центрири. Існують різні конструкції компенсаторів, але кожний з них є механічним або рідинно-механічним маятником, який розташований у зоровій трубці між об'єктивом і окуляром. Крім маятника, у компенсатора є ще демпфер – пристрій для гасіння коливань маятника.

Точка а – компенсатор знаходиться перед об'єктивом, тобто в паралельному пучку променів;

Точка б – компенсатором є об'єктив.

Точка в – компенсатор знаходиться між об'єктивом і фокусною лінзою, тобто в збіжному пучку променів.

Точка г – компенсатором служить фокусна лінза.

Точка d – компенсатор знаходиться між фокусною лінзою і окуляром, тобто в збіжному пучку променів.

Точка e – компенсатором служить окуляр.

При $n=1, f=s$, тобто т.к. повинна збігатися з головною точкою об'єктива.

При $n=2, f/2=s$, і взагалі при конструюванні дотримуються умови, щоб $n > 2$.

Всі конструкції компенсаторів працюють на одній з двох умов:

1. Сила тяжіння;
2. Вільна рідина.

У віддалемірних насадках компенсатор – це оптичний пристрій. Компенсатор при алідаді вертикального круга теодоліта – це оптичний пристрій, який замінює рівень і автоматично зберігає значення місця нуля вертикального круга для малих нахилів вертикальної осі теодоліта.

24. Маятникові компенсатори нахилу.

Найбільш простою конструкцією такого типу є гойдаюча сітка, що закріплена на трьох тонких металевих нитках, що мають довжину $S=f$, тобто $n=1$.

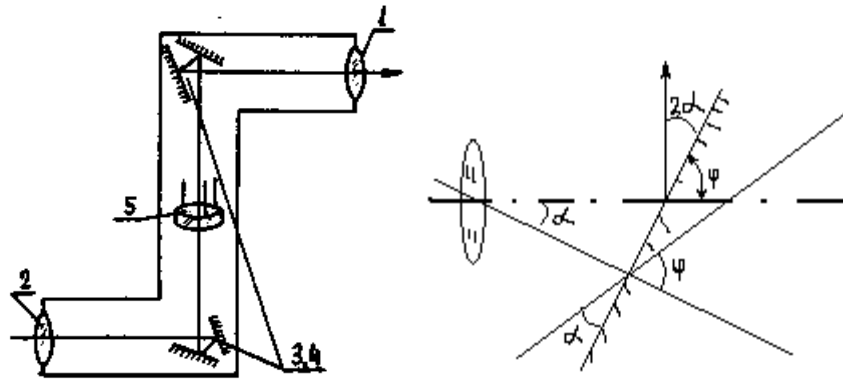


Рис.7.4. Принципова схема компенсатора «гойдаючи сітка»

- 1- об'єктив;
- 2 – окуляр;
- 3,4 – пентапризма (пентаблок);
- 5 – гойдаюча сітка.

Під силою тяжіння сітка займає різне положення, але оптична вісь завжди буде прямовисною. В даному випадку конструкція нівеліра має бути вертикальною.

Більше впровадження мають конструкції компенсаторів з одним або двома дзеркалами, що гойдаються. Наприклад, при конструкції одного дзеркала його положення розташовується під кутом 45° .

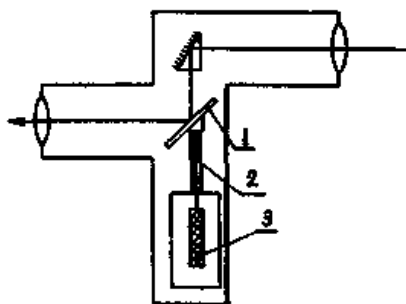


Рис.7.5. Компенсатор з одним дзеркалом

- 1 – дзеркало;
- 2 – маятниковий пристрій;
- 3 – демпфер для гасіння коливань.

Більш точним є маятник із двох дзеркал, перше з яких закріплюється на двох нитках або чотирьох. Дзеркало 1 закріплюється на двох нитках або чотирьох, а дзеркало 2 скріплюється з корпусом. Зорова труба такого нівеліра буде ломаною, а підвіс виконується так, щоб $a = \frac{1}{2}e$. При нахилі нівеліра на кут ν дзеркало 2 також змінюється на кут ν , сітка ниток теж змінюється на кут ν (вверх або вниз).

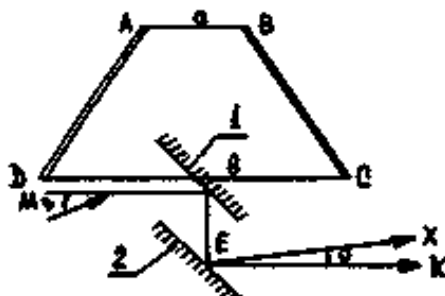


Рис 7.6. Компенсатор з двома дзеркалами

Дзеркало 1 при цьому змінить своє положення на кут $\frac{\nu}{2}$ промінь E змінить своє положення відносно вертикалі на відповідний кут. В кінцевому варіанті віддзеркалений промінь від дзеркала 2 ще змінить кут на $\frac{\nu}{2}$ і попаде на сітку ниток в точку K. Такий компенсатор застосований в конструкції нівеліра НЗК-1 та

інших (конструктор Чусєв. Діапазон компенсування $\pm 15'$).

Для деяких типів нівелірів в якості гойдаючого елемента застосовується призма БР-180⁰. Така конструкція застосована в нівелірі Ні-007. Він має вертикальну конструкцію висотою = 400мм; окуляр – знизу; об'єктив – зверху. Для нього відстань $S = \frac{f}{2}$.

Лекція №8

25. Компенсатори нахилу з рівнем.

Для нівеліра Ні-4 застосована ампула рівня в прохідному світлі.

- 1- лупа;
- 2- окуляр;
- 3- рівень з бульбашкою;
- 4- пентапризма БП-90⁰;
- 5- захисне скло;
- 6- об'єктив;

7- напівпрозоре плоскопаралельне скло.

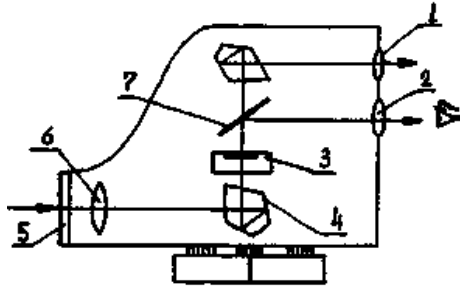


Рис.8.1. Компенсатор нахилу з рівнем

Принцип роботи: через лупу 1 по рівню 3 грубо приводять прилад у робочий стан. Це значить, що за допомогою круглого рівня 3 його бульбашка буде близько до середини. Далі бульбашка діє як сферична лінза. При нахилі приладу бульбашка відхиляється, але при цьому змінює напрям вихідного променя, так, що останній буде прямовисним.

В багатьох конструкціях нівелірів бульбашка рівня є “0-індексом”, по якому знімають відлік по рейці. Принципова схема дії, наприклад, в нівелірі Стодолкевича НС-2, така: горизонтальний промінь, що проходить через об’єктив буде перпендикулярний до радіуса кривизни бульбашки рівня.

$$\Gamma = \frac{l_1}{l}, \quad (8.1); \quad l_1 = \Gamma^x l, \quad (8.2) \quad l_1 = f' \alpha_1, \quad (8.3); \quad l = r \alpha, \quad (8.4)$$

Підставимо (8.3), (8.4) в (8.2).

$$f' \alpha_1 = r \alpha \Gamma^x, \quad (8.5) \quad f' = r \Gamma^x, \quad (8.6); \quad \alpha_1 = \alpha \quad (8.7)$$

A1

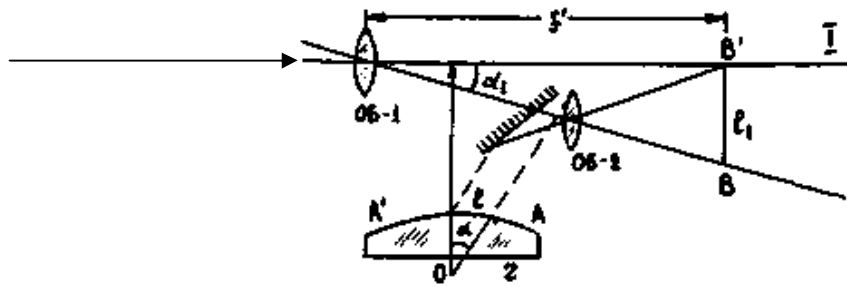


Рис.8.2. Компенсатор у нівелірі Стодолкевича
 Горизонтальний промінь A_1 , що проходить через
 ОБ-1 і промінь, що проходить через ОБ-2,
 перпендикулярні до радіуса ампули r .

Конструкція також має додаткове дзеркало 1 і
 об'єктив $Об_2$. При нахилі приладу на кут α_1
 бульбашка рівня також змінить своє положення
 на кут α . Зображення середини бульбашки за
 допомогою дзеркала та об'єктива $Об_2$ змінить
 своє положення в фокальній площині (площині
 сітки ниток) на величину l_1 . Ця величина з
 величиною зміни положення бульбашки l
 зв'язана відношенням (1), де Γ – кратність
 об'єктива $Об_2$. З (1) маємо (2). Одночасно з
 малюнка можна записати (3), (4). Підставимо (3),
 (4) в (2), отримаємо (5).

Конструктивно легко підібрати, щоб значення
 фокусної відстані f' дорівнювало б добутку
 радіуса кривизни r на збільшення об'єктива $Об_2$,
 тобто $f' = r\Gamma^x$ (6). Тоді $\alpha_1 = \alpha$. Це значить, що при
 нахилі нівеліра на кут α_1 бульбашка відхиляється
 на той самий кут (позначений α). Лінія індекса

бульбашки передається в поле зору нівеліра (розглядається через окуляр і є індексом для зняття відліку по рейці). Така ідея реалізована і в нівелірі НС-3.

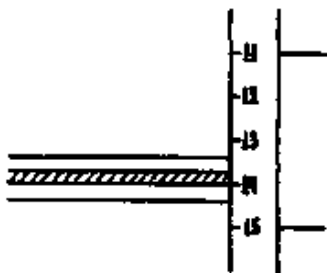


Рис.8.3. Врахування лінії індекса

При нахилі зорової труби на кут α_1 бульбашка рівня зійде з нуля-пункта на віддаль l , що відповідає цьому куту. $L_1 = \Gamma^x l$, де Γ^x – збільшення ОБ-2. Але $l_1 = f^* \alpha_1$, а $l = r^* \alpha_1$

26. Принцип дії рідинних компенсаторів. Види демпферування.

Рідинні компенсатори конструюють так, що рідина дає оптимальний клинок з перемінним значенням заломлюючого кута, який змінюється в залежності від нахилу приладу. Для розрахунків компенсатора можна прийняти формулу, яка впливає з малюнка:

$f\alpha = S\beta = S\omega(n-1)$ (8.8), де n – показник заломлення оптичного клинка.

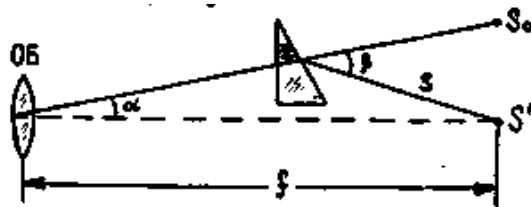


Рис.8.4. Геометрична схема дії рідинного компенсатора

Такий принцип реалізується в багатьох конструкціях нівелірів, де застосовують декілька рідинних компенсаторів, розташованих по вертикалі. Компенсатори застосовують як в нівелірах так і в приладах вертикального проектування.

Демпферування – це процес стабілізації.

В компенсаторах маятникового типу застосовують повітряний демпфер, що виконаний у вигляді циліндра з вільно переміщуваним в середині його поршнем. Зазор між поршнем і циліндром дуже малий.

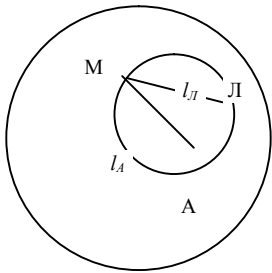
Використовують і магнітні демпфери, де коливання маятників гасять за допомогою вихрових струмів, що виникають в результаті індукції.

В рідинних компенсаторах гасіння коливань проходить тільки за рахунок в'язкості рідини.

27. Ексцентриситет алідади і лімба, його вплив.

Походження ексцентриситета.

Внаслідок неможливості точного виготовлення і складання оптичних деталей теодоліта система його вісей обладнання не може бути зцентрована абсолютно точно. В цьому випадку можуть не збігатися центр обертання лімба з центром обертання алідади.



М – центр поділок лімба;

Л – центр обертання лімба;

А - центр обертання алідади.

1. Центр обертання алідади (т. А) з центром поділок лімба (т. М).

Рис.8.5. Лімб і алідада

Величину цього не збігання називають ексцентриситетом алідади.

2. Центр обертання лімба (т. Л) не збігається з центром поділок лімба (т. М). Величину цього не збігання називають ексцентриситетом лімба.

3. Не збігання осей обертання алідади (т. А) і лімба (т. М) називають ексцентриситетом осей.

Ексцентриситет може бути кутовий і лінійний.

Кутовий визначають з лабораторних досліджень (з побудованої синусоїди).

Лінійний розраховують за формулою, де ϵ кутовий елемент ексцентриситету і радіус лімба.

28. Вплив ексцентриситету.

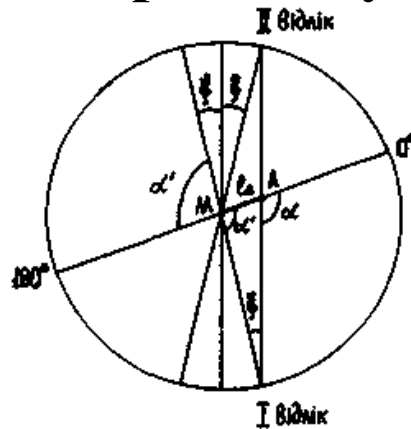


Рис.8.6. Ексцентриситет

Нехай нульова поділка шкали лімба лежить на діаметрі, що збігається з напрямом ексцентриситету MA. Тоді відлік по I устрою дасть дещо менший кут $\alpha' = \alpha - \xi$ (8.9). В той же час відлік по II устрою дасть дещо більший відлік: $II = 180^\circ + \alpha' + 2\xi = \alpha + \xi$ (8.10). Відлік середній з I + II буде вільний від похибки за ексцентриситет, так як $I + II = (2\alpha + \xi - \xi) / 2 = \alpha_r$ (8.11), де $\beta = \xi$. В загальному випадку вплив ексцентриситету змінюється в залежності від кута обертання α , від положення лімба. Проте, при середньому значенні відліків, взятих по діаметрально протилежних напрямках, результат завжди буде вільний від впливу ексцентриситету. Це характерно для приладів,

що забезпечують зняття відліків по діаметрально протилежних частинах лімба (теодоліт типу Т2). Особливе значення вплив ексцентриситету може мати в теодолітах з односторонньою відліковою системою (теодоліт Т5). Для того, щоб виключити ексцентриситет, вимірювання кутів необхідно вести при двох положеннях круга (КП і КЛ). В цьому випадку ексцентриситет також виключається.

Взагалі, вплив ексцентриситету може бути суттєвим, наприклад, при лінійному ексцентриситеті $l = 0,005\text{мм}$ (5мкм) і радіусі круга $r = 45\text{мм}$, вплив ексцентриситету $\xi = 23''$.

$$\xi'' = \frac{l_{\text{мм}} \cdot \rho''}{r_{\text{мм}}} = 23'' . \quad (8.12)$$

Тому, лінійний елемент ексцентриситету l повинна бути $\leq 0,001\text{мм}$ (1мкм).

Лекція №9

29. Визначення ексцентриситету аліади і лімба.

Тут можуть бути 2 варіанти:

1) в теодолітах з двосторонньою відліковою системою;

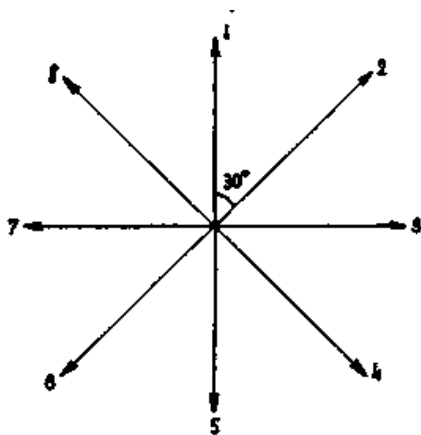
2) в теодолітах з односторонньою відліковою системою.

В першому випадку ексцентриситет являє скоріше теоретичний інтерес. Його вплив на точність вимірювання відсутній, хоча працювати з таким теодолітом незручно.

В другому випадку обов'язково для виключення ексцентриситету необхідно вимірювання кутів вести при двох положеннях вертикального круга (КЛ і КП).

30. Методика визначення ексцентриситету (див. методичку)

В теодолітах з односторонньою відліковою системою ексцентриситет алідади досліджують так:



1) На рівній поверхні розставляють \approx через 30° візирні марки.

2) При КЛ спостерігають і знімають відліки в прямому і зворотному ході на всі візирні цілі.

3) Переводять трубу через зеніт і при КП знов знімають відліки в прямому і зворотному ході.

4) Беруть різниці відліків на одну і ту ж точку при КЛ та КП. Ці різниці еквівалентні значенням ε при дослідженні ексцентриситету в теодолітах з двосторонньою відліковою системою. По цих значеннях і будують синусоїду, з якої знімають значення ε'' і вираховують лінійний ексцентриситет ℓ .

Ексцентриситет лімба в теодолітах з односторонньою відліковою системою досліджують так:

1) Наводять прилад на нерухому ціль і знімають відліки при КЛ і КП.

2) Переставляють лімб через $\approx 30^\circ$ і знов при КЛ і КП наводять на цю ж саму ціль.

3) Так проводять виміри в діапазоні 360° .

4) По різниці відліків КЛ і КП будують синусоїду і визначають з неї всі елементи аналогічно попереднім (ε і ℓ).

31. Підіймальні гвинти. Закріпні і навідні гвинти.

Підіймальні гвинти призначені для приведення приладу в горизонтальне положення, тобто вертикальної вісі в прямовисне положення. Підйомних гвинтів може бути три, або чотири.

Обертання підйомних гвинтів має бути легким, в іншому випадку необхідно запросити майстра.

Конструктивно гострі частини гвинта можуть бути направлені як вниз, так і ввєрх. В деяких конструкціях підйомні гвинти взагалі відсутні, а горизонтування виконується за допомогою комбінації з'єднувальних дисків.

Закріпні і навідні гвинти.

Закріпні гвинти призначаються для закріплення алідади з лімбом, а також для тимчасового закріплення зорової труби під певним кутом. Повільні і точки наведення на предмет або рух зорової труби виконується навідними гвинтами. Крім цього, в теодоліті без компенсатора є навідний гвинт при алідаді вертикального круга, яким користуються для приведення бульбашки рівня при вертикальному крузі.

Основна конструкція закріпних і навідних гвинтів може бути:

- 1) Центрального типу.
- 2) Ричажної передачі.

В першому випадку закріпний гвинт діє на вісь через сухарик і хомутик. Навідні гвинти діють на палець нерухомої частини приладу, а протидією гвинту є патрон з пружиною.

В другому випадку важільна передача має ту особливість, що діє на вісь через важіль, що дозволяє зменшити по висоті конструкцію закріпного пристрою. Наприклад в глухому нівелірі при обертанні елеваційного гвинта він нахиляє вісь не прямо, а через важіль.

В деяких країнах застосовують коаксіальну і фракційну конструкцію навідних гвинтів (Німеччина, RBT-18, Угорщина, Те-В1).

32. Виправні, юстирувальні гвинти. Елеваційний гвинт.

Виправні гвинти використовуються для юстирування сітки ниток, рівня, підставки зорової труби та ін. Для переміщення сітки ниток використовують конструкції, де гвинти діють один навпроти другого.

Крім протидії „гвинт-гвинт” може бути „гвинт-пружина”, „гвинт-контргайка”, „контргайка-контргайка”.

Елеваційний гвинт присутній тільки у нівелірів середньої і високої точності (а інколи – і малої) для нахилу зорової труби на малий кут в вертикальній площині, що проходить через візирну вісь. Основне його призначення – приведення бульбашки циліндричного рівня в

горизонтальне положення перед зняттям відліку по рейці. При обертанні гвинта одночасно рухається бульбашка рівня і нахиляється візирна вісь. Елеваційним гвинтом не користуються для приведення нівеліра в горизонтальне положення. Роблять це тільки по круглому рівню. Елеваційний гвинт має малий крок ($\approx 0,5\text{мм}$).

33. Правила поведження з геодезичними приладами.

Нормальними умовами експлуатації геодезичних приладів по ДЕСТ 23543-88 прийняті наступні: температура навколишнього середовища – $20\pm 5^{\circ}\text{C}$, відносна вологість – $60\pm 20\%$, атмосферний тиск – $760\pm 25\text{мм рт. ст.}$, найбільша швидкість руху повітря в робочому просторі – не більше $0,2\text{ м/с}$, частота збуруючих вібрацій – не більше 30 Гц , амплітуда вітроприскорень – не більше $0,2\text{ м/с}^2$.

Робочі діапазони основних умов експлуатації геодезичних приладів є різними. Високоточні геодезичні прилади повинні функціонувати при температурі від -25 до $+50^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості до 95% . Масові геодезичні прилади – при температурі від -40 до $+50^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості до 98% .

Геодезичні прилади в упаковці повинні транспортуватися будь-якими видами транспорту на значні відстані і переноситись в укладальних футлярах в похідному положенні.

Розробка нового приладу, як правило, складається із науково-дослідних і експериментально-конструкторських робіт. В обох випадках розробка займає певні стадії, тривалість яких залежить від ступеня новизни і складності розробки. Всі галузі промисловості, в тому числі і приладобудівна, дотримуються наступних основних стадій розробки конструкторської документації і виготовлення зразків: технічне завдання, технічні пропозиції, ескізний проект, технічний проект, розробка робочої документації і присвоєння їй відповідної літери (наприклад, для дослідних зразків – “О” “О₁” “О₂”, для серійних виробів – “А”).

В процесі серійного виробництва всі виготовлені прилади проходять приймальні випробування. Один раз на рік або на два роки один – два прилади, прийняті відділом технічного контролю заводу, підлягають періодичним випробуванням в повному обсязі вимог ТУ. Після внесення змін в технологію виробництва або при заміні матеріалів, що покращують технічні або експлуатаційні

характеристики, проводяться типові випробування по спеціальній програмі. І останнє випробування – один раз на три роки Держнагляд організовує державні контрольні випробування в повному обсязі вимог ТУ і діючих стандартів.

Лекція №10.

34. Тахеометри

Тахеометри – це прилади, що визначають напрям, довжину лінії і перевищення.

Розрізняють 2 типи тахеометрів:

1) Оптико-механічні;

2) Електронні або повністю автоматичні.

Оптико-механічні тахеометри мають всі ознаки теодоліта, доповненого далекоміром. Особливістю є нівелір – тахеометр, що застосовується для знімання плоского рельєфу.

Оптико-механічні тахеометри також поділяються на два різновиди:

1) Обчислення відстаней і перевищень виконується за допомогою таблиць і розрахунків. Такі тахеометри називають нередукційними.

2) Редукційні тахеометри дають можливість автоматично визначати горизонтальне проложення лінії або перевищення по

відповідних шкалах (номограмах), в полі зору труби.

За конструкцією можуть бути „теодоліт-тахеометр” і „нівелір-тахеометр”. Бусольні тахеометри вже не застосовуються.

Нівелір-тахеометри представляють собою комбінацію нівеліра, доповненого горизонтальним кругом, а в зоровій трубі є далекомірні штрихи для визначення відстаней.

Недоліком нередукційних тахеометрів є необхідність значних обчислень. Є такі оптико-механічні тахеометри: Редта-002 з бікліновим компенсатором, авторедукційний тахеометр з базисом при інструменті та інше.

35. Авторедукційний тахеометр з базисом при інструменті.

При топозніманнях забудованої території для спеціальних робіт застосовують авторедукційні тахеометри з базисом при інструменті ВРТ-06.

Його оптична схема така:

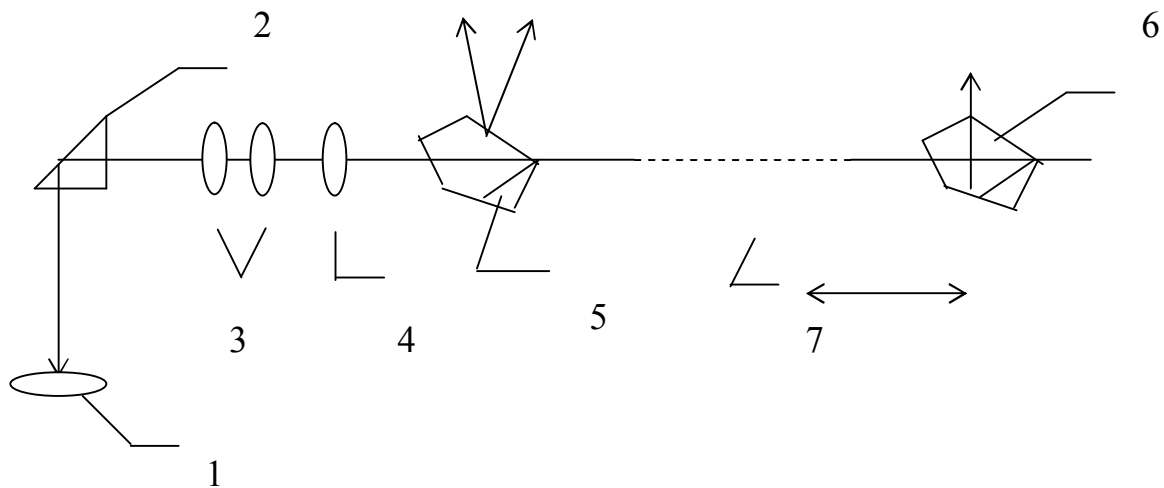


Рис.10.1. Оптична система авто редуційного тахеометра

- 1 – окуляр;
- 2 – прямокутна призма $AB = 90^\circ$;
- 3 – пара напівлінз;
- 4 – об'єктив;
- 5 – пентапризма з постійним кутом відхилення γ_0 (нерухома);
- 6 – рухома пентапризма з кутом 90° ;
- 7 – вимірювальна лінійна $\ell = 300\text{мм}$ з ціною поділки $0,5\text{мм}$.

При роботі з цим тахеометром реєчник непотрібний. Відстань визначається безпосередньо до предмету. Так як нерухома призма має постійний кут відхилення γ_0 , а рухома - пересувається, то стає можливим виконати з'єднання зображень в одній точці, тобто утворюється малий паралактичний кут γ_0 з перемінною базою при лінійці.

36 Електронні тахеометри.

Вітчизняні автоматичні електронні тахеометри виготовляють декількох типів. Серед них мають найбільше застосування електронні тахеометри Та-5 та Та-3.

Наведемо основні характеристики та призначення електронного тахеометра Та-5.

Це прилад, що об'єднує теодоліт, світловіддалемір та інші спеціальні устрої. В автоматизований комплекс, що забезпечує отримання карт і планів з мінімальними похибками спостережень, входять:

1. Безпосередньо тахеометр.
2. Реєстратор інформації.
3. Перетворювач.
4. Міні ЕОМ.
5. Графопобудувач.

Тахеометр може комплектуватись:

1. з візуальним зйомом інформації по кутомірних кругах;
2. з автоматичним зйомом інформації: похила відстань і в першому, і в другому випадку обчислюється горизонтальне проложення автоматично.

Та-5 з візуальною реєстрацією має такі характеристики:

1. СКП вимірювання кутів (вимірюється в гонах).
2. Діапазон вимірювання відстаней від 0,5 км до 3 км з похибкою 20 мм.
3. Діапазон вимірювань вертикальних кутів $= 40^0$.
4. Відліковий пристрій забезпечує:
 - а) ціну поділки лімба: $1 \text{ гон} = 0.9^0$;
 - б) ціну поділки шкали мікроскопа: 10 мгон.
 $10 \text{ мгон} = 0.01 \text{ гон} = 0.54''$

Можлива точність відліку $0.001 \text{ гон} = 3.2''$.

Точність оцінки: Горизонтальний круг – $0.0018 \text{ гон} = 6''$ Вертикальний круг – $0.0030 \text{ гон} = 11''$.
5. Вертикальний круг має компенсатор. Похибка недокомпенсації $2''$ в діапазоні $3'$.

Призначення тахеометра :

1. Вимірювання кутів;
 2. Вимірювання відстаней;
 3. Визначення приростів координат (Δx ; Δy);
 4. Визначення перевищень;
 5. Автоматична побудова рельєфа і ситуації.
- Конструктивно тахеометр розроблений на базі номограмного ТаН, а відстані на базі СТ- 5.

В комплект входять відбивачі, штативи, віха, джерело живлення (12В).

Тахеометр Та –3 повністю з автоматичним зйомом інформації.

37 Спеціальні геодезичні прилади.

До них можна віднести:

1. Лазерні геодезичні прилади;
2. Фотоелектричні автоколіматори;
3. Гіртеодоліти.

Літнарівич Руслан Миколайович – к.т.н.,
доцент.

Електронні геодезичні прилади

V семестр

V – СЕМЕСТР.

Частина II.

Лекція 1.

Основні методи вимірювання віддалей.

Якщо виміряти проміжок часу, за який електромагнітні хвилі пройшли шлях d , то можна визначити його довжину: $d = v \cdot \tau$ (1.1), де

τ - час проходження електромагнітними хвилями шляху d ;

$v = 300000$ км/с – швидкість розповсюдження ЕМ коливань.

Для визначення проміжку часу необхідно зафіксувати моменти проходження хвилею початку та кінця шляху, тобто початку та кінця віддалі.

Набагато простіше визначити такий проміжок часу, коли його початок і кінець фіксуються в одній точці. Це є можливим, коли електромагнітні коливання проходять лінію 2 рази. Тому на одному кінці лінії хвилі повинні відбиватись. Тоді $s = \frac{d}{2} = \frac{v\tau}{2}$ (1.2).

Схема світловіддалеміра (електронного).

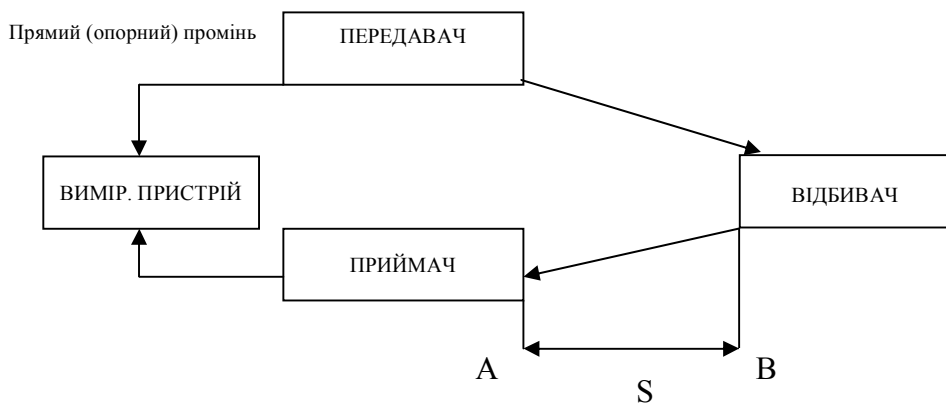


Рис. 1.1 Загальна схема електронного віддалеміра (основні вузли)

Замість проміжку часу τ можна вимірювати зміну відомої функції часу, яка відбулася за час дворазового проходження променя вимірюваної лінії. Це призводить до змін конструкції та функціонування світловіддалеміра. У зв'язку з цим класифікацію методів вимірювань за допомогою електромагнітних хвиль проводять за тією фізичною величиною, зміну якої визначає вимірювальний пристрій.

Існує 3 методи вимірювання:

- 1) Часовий (найбільш наочний) або імпульсний;
- 2) Фазовий;
- 3) Частотний.

1.1 Часовий метод

Основна частина імпульсу проходить вимірювану лінію 2 рази. Передавач випромінює імпульси електромагнітних коливань. Вимірюваний пристрій визначає час τ запізнення приходу на нього відбитих імпульсів відносно прямих. Формула (1.2) є основною формулою часового методу.

$M_\tau = \frac{v \cdot m_\tau}{2}$ (1.3) – СКП визначення довжини лінії;

m_τ - СКП визначення часу τ .

В польових умовах час τ визначається з точністю $1 \cdot 10^{-8}$ сек, тобто 10 нсек.

Невелику частину кожного імпульсу в напрямі відбивача подають на вимірювальний пристрій. Цю частину називають прямим або опорним імпульсом.

Згідно з формулою (1.3) СКП визначення часу дасть СКП визначення лінії 1,5м. Таке значення похибки матиме місце на довгих і коротких лініях, що обмежує застосування імпульсного віддалеміра в геодезії. Вказана точність може задовільнити геодезистів на віддалях, не коротших 100 км. Лінії такої довжини вимірюють радіогеодезичні і супутникові системи.

Переваги часового методу: велика потужність у випромінюваному імпульсі при низькій потужності живлення СД. Тому при однаковій потужності живлення радіус дії імпульсного СД є завжди більшим, ніж у СД з безперервним випромінюванням. У радіовисотомірів приймач приймає імпульси, відбиті від поверхні Землі.

Тепер знаходять застосування лазерні, імпульсні СД, які дозволяють вимірювати з високою точністю значні відстані до об'єкта. Імпульсні СД знайшли застосування при вимірюванні ліній до Місяця і ШСЗ.

1.2 Фазовий метод вимірювання вимагає того, щоб передавач віддалеміра безперервно випромінював вздовж лінії гармонічні коливання – групу періодичних коливань, що записується рівнянням:

$$x = A \cdot \cos(2\pi ft + \varphi_0) \text{ або } x = A \cdot \sin(2\pi ft + \varphi'_0) \quad (1.4), \text{ де}$$

A - амплітуда гармонійних коливань.

Аргумент \cos або \sin - поточна фаза, що є лінійною функцією часу і визначає стан гармонійно змінюваної величини в момент часу t . Фаза вимірюється в кутових величинах. Величини φ_0 і φ'_0 називають початковими фазами. Їх значення обумовлене вибором початку відліку часу. Фаза є пропорційна до частоти коливань. f

- кількість циклів коливань, що здійснюються за 1 сек. Одиницею частоти є Герц.

$$1\text{Гц} = \frac{1}{\text{сек}},$$

Частота коливань є обернено пропорційна до періоду коливання:

$$T = \frac{1}{f}, \quad (1.5)$$

Період – час, за який здійснює 1 повний цикл коливання. Відрізок, на який розповсюджується хвиля, називається довжиною хвилі коливання:

$$\lambda = v \cdot \tau = \frac{v}{f}, \quad (1.6)$$

Коливання, які випромінює передавач, проходять вимірювальну лінію, відбиваються, ще раз проходять лінію та приймаються приймачем.

Роль вимірювального пристрою в фазовому методі виконує фазометр, який вимірює різницю фаз коливань, що потрапляють на нього. Запишемо рівняння фаз коливань, що йдуть на фазометр в момент часу t .

$$\text{Фаза прямих коливань: } \varphi_{\text{перед.}} = 2\pi ft + \varphi_0 \quad (1.7)$$

$$\tau = \frac{2S}{v} \quad (1.8), \quad \varphi_{\text{відб.}} = 2\pi f(t - \tau) + \varphi_0 \quad (1.9)$$

Різниця фаз прямих і відбиваючих коливань:

$$\varphi_{\text{пр.}} - \varphi_{\text{відб.}} = 2\pi ft, \quad (1.10)$$

Як бачимо, різниця фаз пропорційна до часу τ та вимірювальної частоти. Виразимо в (1.9) час τ через S у формулі (1.2):

$$s = \frac{\Delta\varphi v}{2\pi \cdot 2f}, \quad (1.11) \quad \text{— основна формула фазового}$$

методу. $\Delta\varphi = \varphi_{\text{пр}} - \varphi_{\text{відб}}$

З (1.11) видно, що для визначення довжини лінії фазовим методом необхідно вимірювати різницю фаз та знати їх частоту і швидкість розповсюдження в повітрі. Вимірювана різниця фаз містить помилку $m_{\Delta\varphi}$. В зв'язку з цим обчислимо довжину лінії з помилкою

$$M_{\Delta\varphi} = \frac{m_{\Delta\varphi}}{2\pi} \cdot \frac{v}{2f} \quad (1.12)$$

Для зменшення впливу помилки вимірювання різниці фаз на точність випромінювання довжин лінії необхідно збільшувати частоту. Фазометрії дозволяють одержувати довжини ліній з достатньою точністю з частотою не менше 10 МГц. Тому такі вимірювальні частоти використовують в фазових віддалемірах.

Коливання з частотою 10 МГц розповсюджуються в атмосфері не прямолінійно. Тому у віддалемірі вимірювальні частоти переносяться вздовж вимірювальних ліній на надвисокочастотних несучих коливаннях, траєкторію яких в атмосфері можна вважати прямолінійною.

У великій групі віддалемірів несучими коливаннями є коливання оптичного діапазону, частота яких більша від 1000 ГГц. Ці прилади називаються світловіддалемірами.

Є група віддалемірів, в яких використовують ультрокороткохвильові несучі коливання, частота яких 3-30 ГГц. Їх називають радіовіддалемірами. Вимірювальні коливання модулюють частоту, амплітуду або інші параметри несучих коливань.

Модуляцією називають закономірну зміну будь-якого параметра коливань.

$$s = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (1.13), \text{ де}$$

$\lambda/2$ - півдовжина хвилі вимірювальної частоти (своєрідна одиниця міри довжини лінії, бо саме з нею порівнюють довжину лінії).

Коефіцієнт $\Delta\varphi/2\pi$ показує, скільки разів $\lambda/2$ вклалася в довжину лінії.

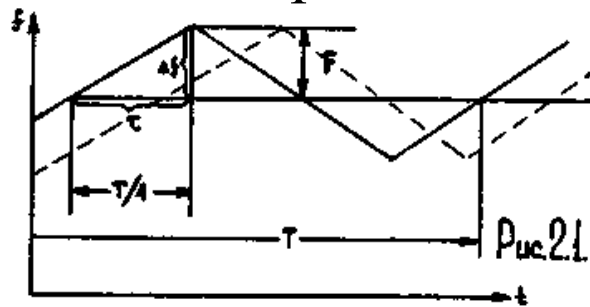
Фазометри віддалеміра дозволяють вимірювати різницю фаз тільки в межах одного періоду, тобто вони вимірюють тільки фазовий домір. Ціле число N фазометри не вимірюють. Якщо довжина вимірювальної лінії є меншою $\lambda/2$, то фазовий віддалемір вимірює її однозначно, тому $l_{\text{одн}} = \lambda/2$ є однозначно визначуваною віддалю, на даній вимірювальній

частоті. Незважаючи на цей недолік, фазовий метод зайшов дуже широке застосування. Він використовується практично у всіх СД і РД, а також в радіогеодезичних і супутникових системах. Фазометри мають шкалу, з якої під час вимірювань знімають відліки. Вони є фазовими домірами в поділках шкали.

Лекція 2.

2.1 Частотний метод з модульованими коливаннями. Може ґрунтуватися на двох різних принципах: один – на використанні частотно-модульованих несучих коливань; другий – на ефекті Доплера. В першому варіанті несучу частоту модулюють так, щоб вона змінювалась згідно лінійному закону, тобто так, щоб була простою залежністю між зміною частоти та часом, за який ця зміна відбулася. Половина періоду частоти модуляції несучих коливань $T/2 = 1/2f$ повинна бути більшою від часу проходження електромагнітними хвилями подвійної лінії у всьому радіусі дії віддалеміра, тобто, щоб $T/2 > 2S_{\max}/v$. Коливання, які 2 рази пройшли вимірювану лінію приймає приймач і разом з частотою прямих коливань передає їх на

виміряний пристрій. Покажемо графік зміни частоти в частотному віддалемірі.



Графік зміни частоти в частотному віддалемірі

У вимірювальному пристрої визначають різницю прямих і відбитих коливань ($\Delta\varphi$), що буде

$$\Delta f = f_{np} - f_{відб} \quad (2.1)$$

f_{np} - частота коливань, які випромінює передавач в момент часу t

$f_{відб}$ - частота коливань, які приймає приймач в момент часу t .

Різниця частот залежить від довжини лінії, або часу τ . На рис 2.1 сувільною лінією показаний графік зміни частоти прямих коливань, модульованих за законом "трикутника". Штриховою лінією нанесений графік зміни частоти відбитих коливань. Як видно з рисунка, різниця частот прямих і відбитих коливань є постійною, за винятком дуже малого проміжку часу, чим нехтують. На основі рисунка можна записати.

$\frac{\tau}{\Delta f} = \frac{T}{4F}$ (2.2) де Δf - вимірне значення різниці

частот;

F- амплітуда зміни частоти;

$\tau = \frac{\Delta f T}{4FT}$ (2.3) T- період частоти модуляції

несучих коливань.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.4)$$

$s = \frac{v \cdot \Delta f}{8Ff}$ (2.5)- основна формула частотного

методу за законом “трикутника”.

Частотний метод з модульованими коливаннями застосовується в радіовисотомірах, а також в системах м'якої посадки космічних апаратів.

2.2. Частотний метод, заснований на ефекті Доплера.

Другий спосіб застосовує ефект Доплера. Його використовують тільки в тих випадках, коли віддаль між передавачем і приймачем швидко змінюється. Він передбачає, що рухомий передавач безперервно випромінює ЕМ коливання частоти f_s . При цьому методі не модулюють коливань, які випромінює передавач. Нерухомий приймач на поверхні землі приймає ці коливання. Через те, що віддаль між передавачем і приймачем швидко змінюється, частота коливань, які проходять на приймач, відрізняються від частоти випромінюваних

передавачем коливань. Ця зміна частоти є виявленням ефекту Допплера. Частота прийнятих коливань:

$$f_n = f_e \frac{1 \pm \frac{V_{nep} \cdot \cos \theta}{v}}{\sqrt{1 - \frac{4V_{nep}^2}{v^2}}}, \quad (2.6) \text{- де } f_e \text{- частоти коливань які}$$

випромінює передавач;

V_{nep} - швидкість передавача;

θ - кут між напрямком;

v - швидкість ЕМ коливань.

У зв'язку з тим, що швидкість V_{nep} навіть у випадку його розміщення на ШСЗ в багато раз менша від v , то значення підкоріного виразу є дуже близьким до 1. Величини $V_{nep} \cdot \cos \theta$ є складовою швидкості передавача в напрямі на приймач або радіальною швидкістю v , тобто

$$V_{nep} \cdot \cos \theta = v \quad (2.7)$$

Приймаючи до уваги вищесказане, запишемо:

$$f_n = f_e \pm f_d \frac{v}{v}, \quad (2.8)$$

$$f_n - f_e = f_d = \pm f_e \frac{v}{v}, \quad (2.9), \text{ де}$$

f_d - частота Допплера.

Її вимірює частотомір на наземній станції віддалеміра.

2.3. Схема доплерівського віддалемірного пристрою (показано на рис. 2.2)

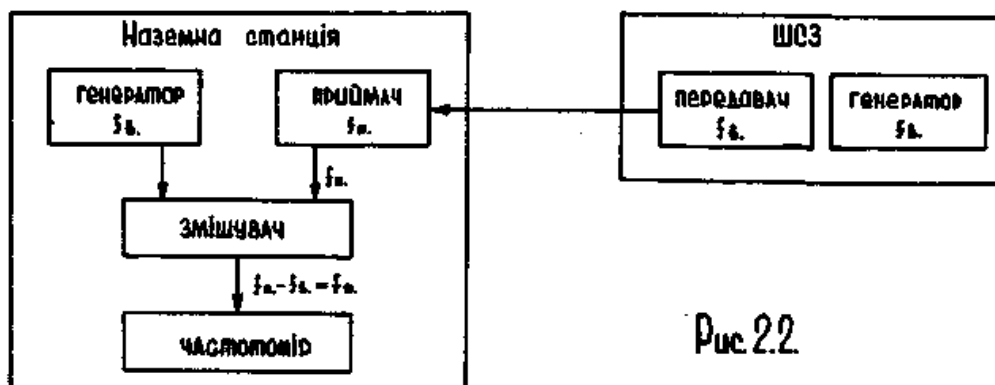


Рис. 2.2.

Схема Доплерівського віддалемірного пристрою

Для визначення частоти Доплера на наземній станції є генератор, який генерує коливання такої ж частоти, яку випромінює передавач, тобто f_s . Коливання з приймача з частотою f_n з генератора йдуть на змішувач. З нього отримують коливання, частота яких дорівнює різниці частот $f_n - f_s = f_0$. Частоту цих коливань вимірює частотомір. Даний принцип реалізований у приймачах GPS.

Лекція 3.

3.1. Виключення багатозначності за наближеним значенням виміряної лінії.

За час проходження сигналу від передавача до приймача, фази прийнятого і випромінюваного сигналів будуть відрізнятися на деяке число N цілих (від 0° до 360°) циклів, і

вимірюваної за допомогою фазометра в межах одного циклу його частини ΔN , тобто

$$\Delta\varphi = 2\pi(N + \Delta N), \quad (3.1)$$

Кількість повних фаз циклів N , які вміщаються у вимірювану віддаль, залежить в основному від значення масштабної частоти. З рис.3.1 видно, що

$$N = \frac{2D}{\lambda} - \Delta N, \quad (3.2)$$

Формула (3.2) дає можливість виключити багатозначність за наближеним значенням D вимірюваної лінії.

$$N' = \frac{2D'}{\lambda} - \Delta N, \quad (3.3)$$

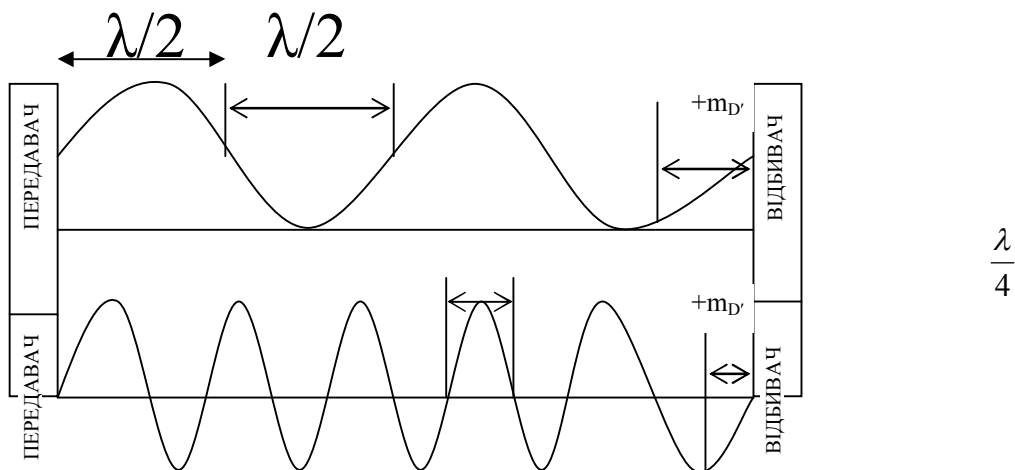


Рис.3.1. Поширення сигналу «Передавач-відбивач»

Масштабною частотою називається відповідна довжині хвилі частота f , до якої відноситься вимірюваний фазовий зсув. Вимірювана віддаль дорівнює деякому числу $N + \Delta N$ напівхвиль $\frac{\lambda}{2}$.

Тобто величина $\frac{\lambda}{2}$ є лінійною мірою, за допомогою якої проводиться вимірювання віддалі. Це своєрідна масштабна одиниця довжини

$$N' = \frac{D'}{\lambda/2}, \quad m_{D'} = \frac{\lambda}{4}.$$

Обчислене значення N заокруглюють до цілого і підставивши у (3.1) отримують можливість визначити вимірювану віддаль. Похибка заокруглення m_n повинна бути $\leq 0,5$, що обумовлює похибку у віддалі $m_{D'} = \frac{\lambda}{2} m_n = \frac{\lambda}{4}$, (3.4).

Таким чином, для того, щоб достовірно визначити число цілих фазових циклів, які вкладаються у виміряну віддаль, наближене його значення повинно бути відоме з похибкою не більше 0,25 довжини хвилі масштаба частоти.

Приклад 1.

Нехай масштабна частота $f=30$ МГц. З якою похибкою необхідно визначити наближене значення вимірювальної віддалі?

За відомою формулою: $\lambda = \frac{v}{f}$, (3.5)

отримаємо $\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^7} = 10 \text{ м}$.

Тоді $m_{D'} = \frac{\lambda}{4} = 2,5\text{м}$.

Таким чином карта масштабу 1:5000 і крупніше може задавільнити необхідну точність. Типові значення масштабних частот лежать в діапазоні 10...500 МГц. При $f=10$ МГц $\frac{\lambda}{4}=7,5\text{м}$. Знати з такою точністю досить велику віддаль практично неможливо, навіть при наявності великомасштабних карт. Тому даний метод не може забезпечити виключення неоднозначності (за виключенням випадків коротких ліній).

3.2 Виключення багатозначності при плавній зміні частоти (одноступеневий спосіб).

Плавна зміна масштабу частоти дає можливість визначити ряд величин довжин хвиль, які ціле число раз вкладаються у виміряну віддаль, тобто $\Delta N = 0$. Вимірявши точне значення першої і останньої (k – тої) частоти, знаходять кількість цілих циклів, наприклад на k – тій частоті. Нехай $D = \frac{1}{2} N_1 \lambda_1$, (3.6) і $D = \frac{1}{2} N_k \lambda_k$, (3.7), де число циклів $n_k = N_k - N_1$, (3.8), або $n = k - 1$.

Прирівнюючи ліві і праві вирази (3.6) і (3.7) отримаємо: $N_1 \lambda_1 = N_k \lambda_k$, звідси

$$N_1 = \frac{N_k \lambda_k}{\lambda_1}, \quad (3.9).$$

Віднімемо ліву і праву частини (3.9) від N_k :

$N_k - N_1 = N_k - \frac{N_k \lambda_k}{\lambda_1}$. З врахуванням (3.8) будемо

мати: $n_k = \frac{N_k(\lambda_1 - \lambda_k)}{\lambda_1}$, (3.10) або $N_k = n_k \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_k}$, (3.11).

Переходячи від довжини хвилі до частоти ($\lambda = \frac{v}{f}$), отримаємо:

$$N_k = n_k \frac{v/f_1}{v(1/f_1 - 1/f_k)} = n_k \frac{1/f_1}{f_k - f_1/f_1 f_k} = n_k \frac{f_1 f_k}{f_1(f_k - f_1)} = n_k \frac{f_k}{f_k - f_1}, \quad (3.12).$$

При цьому f_k більше f_1 . Таким чином, суть способу виключення багатозначності з плавною зміною частоти полягає у вимірюванні віддалі на двох частотах (f_1 і f_k) і вимірюванні в процесі спостережень різниці m числа періодів в діапазоні плавної зміни частоти в межах від f_1 до f_k . При цьому величину $l = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2}$, (3.13) роблять рівним нулю, що досягається спостереженням екстремальних світлових потоків. У трьох рівняннях маємо три невідомі: D_1 , N_1 , N_k . Розраховуючи число N_k за формулою (3.12), заокруглюють число N_k до цілого і підставляють у формулу $D = \frac{1}{2} N_k \lambda_k$, (3.7) і отримують шукану віддаль.

Для надійного виключення багатозначності (середнє квадратичне значення відхилення числа N повинно бути не більше 0,17 похибки, яка може бути допущена).

Похибка приведення величини $\frac{\lambda\Delta\varphi}{4\pi}$ до нуля розраховується за формулою:

$$m_f \leq \frac{0.17 \cdot 10^8}{D \cdot K_\lambda} \quad (3,14),$$

$$m_\varphi \leq \frac{43^\circ}{K_\lambda}, \quad (3,15) \text{ де}$$

m_f - СКП визначення частоти в Гц;

m_φ - СКП визначення різниці фаз в градусах.

$K_\lambda = \frac{f_1}{f_k - f_1}$ - коефіцієнт багатозначності.

Похибкою у визначенні швидкості світла можна нехтувати через її малу величину. Одноступеневий спосіб виключення багатозначності використовується у всіх віддалемірах з компенсаційною коміркою Керра. Негативними факторами цього методу є те, що при односторонньому способі виключення багатозначності в комплекті віддалеміра необхідно мати прилад для визначення частоти.

Нижня межа довжин ліній, які можна вимірювати віддалеміром, залежить від діапазону зміни частоти s_{\min} :

$$s_{\min} = \frac{v}{2Df} \quad (3.16), \text{ де } s_{\min} - \text{найкоротша віддаль, яку}$$

можна виміряти віддалеміром з діапазоном зміни частоти Df .

Приклад 2. Для СД СВВ-1 при $K_\lambda = 13$ і $D = 10 \text{ км}$ маємо:

$$m_f \leq \frac{0.17 \cdot 10^8}{10 \cdot 13 \cdot 10^3} = 130 (\text{Гц}), \text{ а } m_\varphi \leq \frac{43^\circ}{13} = 3,3^\circ.$$

Така точність досягається у приладах при вимірюванні частоти модуляції гетеродинним хвильоміром і спостереженні різниці фаз візуально.

Знайдемо число цілих циклів, наприклад, на першій частоті:

$$N_k = \frac{N_1 \lambda_1}{\lambda_k},$$

$$N_k - N_1 = \frac{N_1 \lambda_1}{N_k} - N_1,$$

$$N_k = \frac{N_1 (\lambda_1 - \lambda_k)}{\lambda_k},$$

$$N_1 = N_k \frac{\lambda_k}{\lambda_1 - \lambda_k}, \quad (3,17)$$

$$N_1 = N_k \frac{\frac{v}{f_k}}{\frac{v}{f_1} - \frac{v}{f_1}} = \frac{f_1 f_k}{(f_k - f_1) f_k} \cdot N_k,$$

$$N_1 = N_k \frac{f_1}{f_k - f_1}, \quad (3,18)$$

Приклад 3. На 7-ми довжинах хвиль у виміряну віддаль вложилась ціла кількість фаз циклів, причому $\lambda_1 = 33,951(m)$, а $\lambda_7 = 29,720(m)$. На першій частоті отримаємо:

$$N_1' = (7-1) \frac{29,720}{33,951 - 29,720} = 42,1 \approx 42,$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot 42 \cdot 33,951 = 712,971(m),$$

На сьомій частоті:

$$N_7' = 6 \cdot \frac{33,951}{4,231} = 48,15 \approx 48,$$

$$D = \frac{1}{2} N_7 \lambda_7 = 24 \cdot 29,720 = 713,280(m),$$

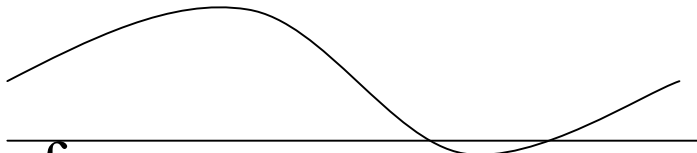
$$f_{\text{абс.}} = 712,971 - 713,280 = 0,309(m),$$

$$f_{\text{від.}} = \frac{1}{713,1255/0,309} = \frac{1}{2307} \cdot$$

3.3 Виключення багатозначності при вимірюваннях на фіксованих частотах.

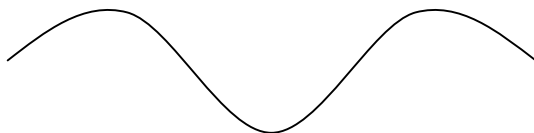
Для виключення багатозначності може бути використаний ряд фіксованих частот (звичайно 3 або 4). В основу метода положено ідея: неоднозначності не буде, якщо $N=0$, тобто довжина хвилі масштабної частоти буде більшою подвоєної віддалі або $\lambda \geq 2D$. В даному випадку безпосередньо вимірюється фазовий зсув $\Delta\varphi_s$, який дасть можливість знайти віддаль D :

$$D = \frac{\lambda}{2} \Delta N = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\Delta\varphi_s}{2\pi}, \quad (3,19)$$



A diagram showing a sine wave above a horizontal line. The horizontal line is labeled f_1 below it.

$$D' = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\Delta\varphi'}{360^\circ}$$



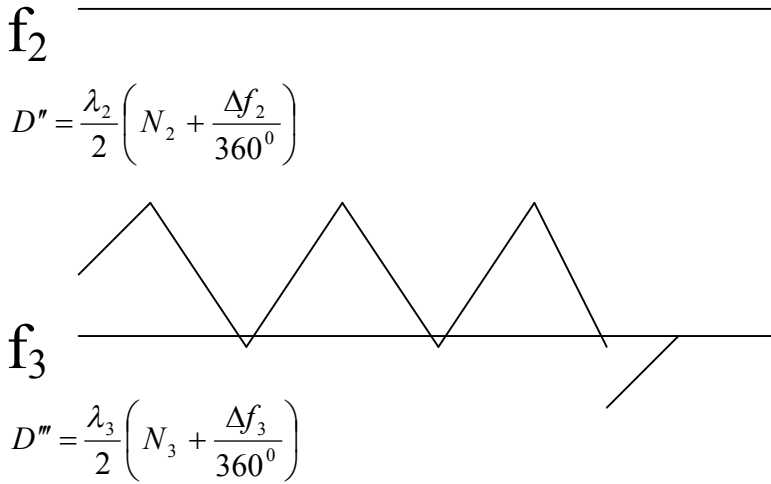


Рис. 3.2 Безпосереднє вимірювання фазового зсуву

Приклад 4.

Для однозначного виміру лінії $\lambda \geq 34 \text{ км}$. Приймемо $\lambda = 35 \text{ км}$. Знайдемо виміряну віддаль, якщо $\Delta f_b = 228^\circ$.

$$D' = \frac{35000 \text{ м}}{2} \cdot \frac{228^\circ}{360^\circ} = 11080 \text{ м}$$

Приймемо довжину хвилі постійною, і диференціюючи формулу, отримаємо: $m_D = \frac{\lambda}{2} \frac{m_{\Delta f}}{360^\circ}$,

(3.20)

Де m_D – СКП виміру лінії;

$m_{\Delta f}$ - СКП виміру різниці фаз.

Приймаючи до уваги, що технічні можливості фазометрів обмежуються, точність виміру різниці фаз приблизно 1° .

$$m_D = \frac{35000}{2} \frac{1}{360} = 48.6 \text{ м}$$

$$\frac{m_D}{D} = \frac{48.6}{11080} = \frac{1}{228} - \text{недостатня для геодезичних}$$

вимірів.

Уточнимо довжину лінії на більш короткій довжині хвилі $\frac{\lambda}{2}$ дорівнює похибці заокруглення.

m_N – повинно бути $\leq 0,5$, що обумовить похибку у віддалі m_D :

$$m_D = \frac{\lambda}{2} m_N = \frac{\lambda}{4}, \quad (3.21)$$

$$\lambda_2 \gg 4m_D \gg 700\text{м}$$

$$\lambda_2 = 1000\text{м}$$

$$N = \frac{250}{\lambda} - \Delta N$$

$$\Delta f_b = 73^\circ$$

$$N_2 = \frac{2 \cdot 11080}{1000} - \frac{73^\circ}{360^\circ} = 22.16 - 0.20 = 21.96 \approx 22$$

$$m_D = \frac{1000}{2} \frac{1}{360} = 1.388\text{м} - \text{уточнена довжина лінії.}$$

$$\frac{m_D}{D} = \frac{1.388}{11101.388} = \frac{1}{8000}$$

Продовжуючи вимірювання на більш коротких хвилях, можна досягнути необхідної точності. Такий метод виключення багатозначності називається методом рознесених фіксованих частот.

3.4. Виключення багатозначності на близьких фіксованих довжинах хвиль (частот).

Виключення багатозначності може бути виконано і на близьких по значенню фіксованих довжинах хвиль (частот). При цьому використовують довжини хвиль:

$$\lambda' = \frac{v}{\Delta f} \gg \frac{v}{f_i},$$

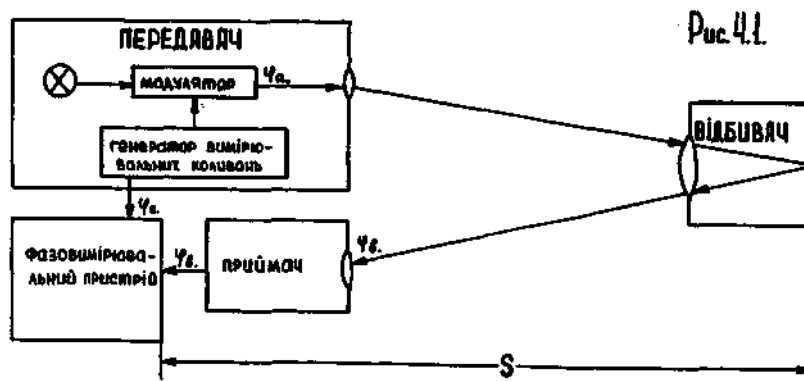
Подальші дії аналогічні до методу рознесених частот.

Лекція 4.

Функціональні схеми світловіддалемірів.

Всі фазові віддалеміри складаються з чотирьох основних вузлів: передавача, приймача, фазовимірювального пристрою та відбивача. Три перші вузли розміщують на одному кінці лінії, а відбивач – на другому.

4.1 Загальна функціональна схема віддалеміра.



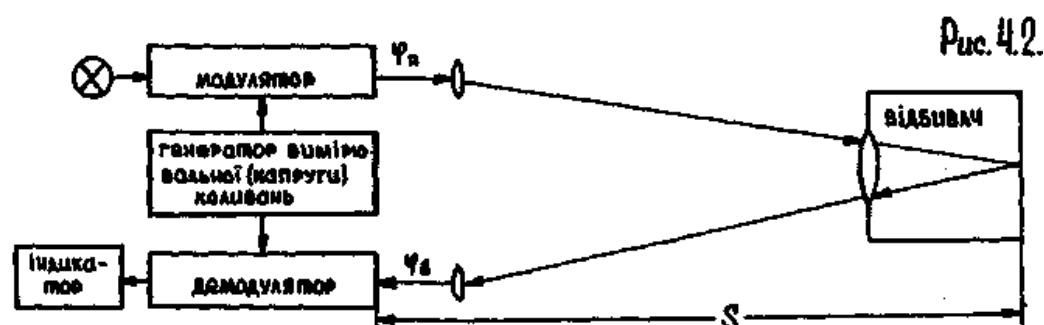
Загальна функціональна схема віддалеміра.

Передавач випромінює високочастотні несучі ЕМ коливання, які є модульованими вимірюваними коливаннями. У СД несучими є ЕМ коливання оптичного діапазону, джерелом яких може бути лампа, світлодіод або лазер. Джерелом випромінювання коливань є генератор, напруга з якого прикладається до модулятора. Світловий промінь з джерела

проходить через модулятор і в ньому під впливом вимірної напруги відбувається модуляція світлового променя. У СД використовують тільки два види модуляції: за інтенсивністю або за еліпсом поляризації. Передавальна оптична система посиляє модульований промінь вздовж лінії яку вимірюють. Якщо джерелом світла є світлодіод то модуляцію інтенсивності його випромінювання переводять прикладанням вимірної напруги безпосередньо до світлодіода. Відбивачі СД пасивні, бо вони тільки відбивають світловий промінь в напрямку на приймач, який знаходиться біля передавача. Основною їх частиною є дзеркальна поверхня, яка відбиває присланий промінь. Приймачем СД є приймальна оптична система. Вона вловлює світло, відбите відбивачем, і скеровує його на фазометр. На фазометр крім коливань з приймача, подають вимірну напругу із генератора передавача. Біжуча фаза цієї напруги дорівнює фазі модуляції $\varphi_{\text{пер}}$ променя на початку його шляху. Фаза модуляції світлового потоку дорівнює фазі модулюючої напруги в точці його виходу з модулятора. Тому початком вимірюваної лінії у СД є вихід з модулятора. Фазою $\varphi_{\text{в}}$ вважають фазу модуляції відбитого

світлового променя на вході в фазометр, бо там закінчується шлях світлового променя.
 $\varphi_n - \varphi_s = \Delta\varphi$ (4.1). Істотне значення в принципі дії та конструкції СД має його фазовимірювальний пристрій. Тому, в основі поділу СД на 3 покоління лежить спосіб вимірювання різниці фаз або тип фазометра.

4.2 Загальна функціональна схема світловіддалеміра першого покоління.



Загальна функціональна схема світловіддалеміра першого покоління.

У СД 1-го покоління використовують оптичні фазометри, які вимірюють різницю фаз на частоті модуляції світла. Основною частиною оптичного фазометра є модулятор, який працює синхронно з модулятором передавача. Модулятор фазометра називається

демодулятором. Синхронність роботи модулятора і демодулятора полягає в тому, щоб їх частота роботи була однакою. Це забезпечується тим, що вони працюють під впливом напруги від одного генератора, а саме генератора випромінюваних коливань. Крім цього обов'язково мусить бути відома різниця фаз α модулятора і демодулятора: $f_d = f_m$, $\varphi_d - \varphi_m = \alpha$ (4.2), де f_d і f_m - частоти роботи модулятора і демодулятора;

φ_d і φ_m - фаза їх роботи;

α - відома величина, яка може бути змінною або постійною.

При виконанні рівностей (4.3) сила сигналу після проходження через модулятор і демодулятор є функцією різниці фаз $\varphi_n - \varphi_e$. Вона може мати, наприклад такий вигляд

$I = A + B \cos(\varphi_n - \varphi_e + \alpha)$, де A і B - коефіцієнти. Якщо визначити силу сигналу I , то отримаємо потрібну різницю фаз $\varphi_n - \varphi_e$. В цьому і полягає суть роботи фазометрів СД 1-го покоління. Силу сигналу на виході з демодулятора вимірює або реєструє індикатор. Ним може бути око спостерігача - тоді реєстрація є візуальною. Відповідно до цього СД 1-го покоління поділяють на дві групи: з візуальною та приладовою реєстрацією різниць фаз. При візуальній реєстрації роль

демодулятора і модулятора виконують однакові пристрої, які модулюють світло або за інтенсивністю, або за формою еліпса поляризації. Візуально можна фіксувати лише екстремальні значення інтенсивності світла, тобто мінімуми або максимуми, які відповідають визначеним значенням фазових домірів, наприклад, такі, які дорівнюють 0. Для встановлення максимумів екстремальних інтенсивностей світла або потрібних значень фазових домірів найчастіше плавно змінюють виміри частоти, рідше – різницю фаз роботи модулятора і демодулятора, тобто α . Слід відзначити, що віддалеміри 1-го покоління з візуальною реєстрацією різниці фаз мають просту будову, але зустрічаються вже рідко. Інколи візуальна реєстрація виконується для грубого виміру ліній (наприклад у СГ-3).

У віддалемірах з приладовою реєстрацією різниці фаз індикатором служить мікроамперметр, тому необхідно світловий потік перетворити в фотострум. Це можна зробити після його демодуляції (як у СГ-3) або перед нею (як у геодиметрі NASM2).

В першому випадку модулятором і демодулятором у віддалемірі є однакові пристрої, які можуть модулювати як

інтенсивність випромінювання, так і форму еліпса його поляризації. Перетворення світлового потоку після проходження демодулятора виконується за допомогою фотоелектричного помножувача(ФЕП). Якщо перетворення світлового потоку у фотострум проходить перед демодуляцією, то демодулювати треба струм, сила якого змінюється за гармонійним законом з частотою модуляції світла і фазою φ_s . Для перетворення у фазометрі відбитого світлового потоку у фотострум і його демодуляції використовують ФЕП. В цьому варіанті у віддалемірі 1-го покоління світловий потік потрібно модулювати тільки за інтенсивністю.

У віддалемірах з приладовою реєстрацією різниці фаз вимірювальна частота може змінюватися плавно або дискретно. Зараз поширені віддалеміри 1-го покоління з приладовою реєстрацією, в яких світловий потік перетворюється у фотострум після демодуляції. При цьому застосовують модуляцію світла, тільки за формою еліпса поляризації. Процес вимірювань цими віддалемірами вдалося значною мірою автоматизувати.

Лекція 5.

Світловіддалеміри другого і третього поколінь.

У світловіддалемірах другого покоління використовують радіоелектронні аналогові фазометри. В них перед вимірюванням різниці фаз перетворюють відбитий модульований світловий промінь в струм, сила якого змінюється з частотою і фазою, що дорівнює частоті і фазі модуляції відбитого світлового потоку. Це перетворення відбувається в ФЕП, тому у віддалемірах 2-го покоління світло може бути модульованим тільки за інтенсивністю. Роль коливання з фазою, що дорівнює φ_n , виконує вимірювальна напруга, яку подають на фазометр.

Аналогові фазометри можуть точно вимірювати різницю фаз двох коливань на низьких частотах. Тому виникає необхідність зниження частоти прямого і відбитого коливань перед подачею їх на фазометр, що у віддалемірах виконують способом гетеродинування. Він знижує частоти коливань. У цьому способі зберігається різниця фаз коливань, тобто різниця фаз коливань після зниження їх частоти є такою ж, як перед зниженням. Для гетеродинування у

ФЕП потрібно мати допоміжний генератор, який називається гетеродином, і 2 змішувачі: опорний і сигнальний. Частота гетеродина є близькою до вимірювальної частоти. Різницю цих частот вибирають такою, на якій найкраще працює фазометр, застосований у віддалемірі, це, частіше, є низька частота, що дорівнює декільком кГц. На опорний змішувач подають коливання з генератора вимірювальної напруги і з гетеродина. З опорного змішувача отримують коливання низької різничної частоти, фаза яких є прямо пропорційною до фази φ_{Π} . Сигнальний змішувач змішує коливання з ФЕП та з гетеродина. З цього змішувача виділяють коливання з частотою, яка дорівнює різниці частот вимірювальних коливань, отриманих з ФЕП, і коливань гетеродина, тобто коливань такої ж частоти, як і ті, що йдуть з опорного змішувача. Їх фаза є прямо пропорційною до фази φ_{ϵ} . Фазометр визначає різницю фаз коливань з опорного і сигнального змішувачей, яка дорівнює $\varphi_{\Pi} - \varphi_{\epsilon}$.

5.1 Загальна функціональна схема віддалеміра 2-го, і 3-го поколінь.

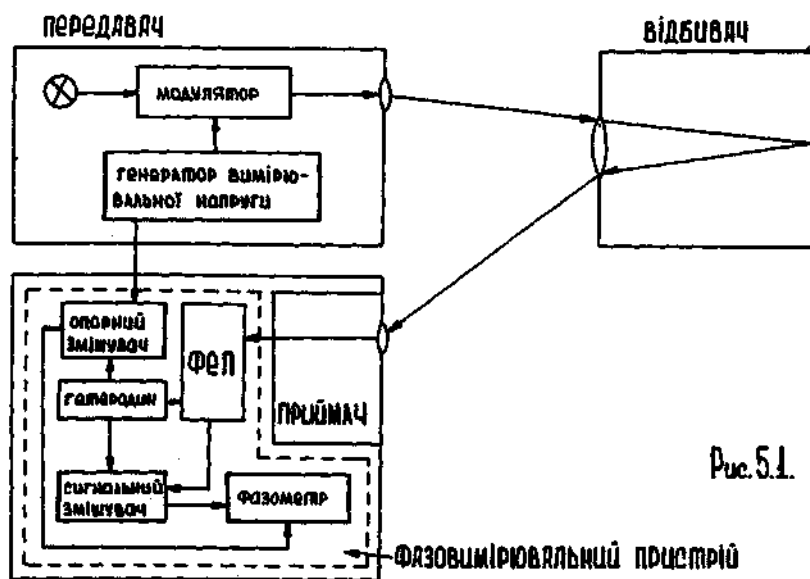


Рис. 5.1.

Загальна функціональна схема віддалемірів другого і третього поколінь.

5.2 Віддалеміри 3-го покоління.

Віддалеміри 3-го покоління відрізняються від віддалемірів 2-го покоління, в основному тим, що в них замість аналогового, використовується цифровий фазометр, який вимірює різницю фаз коливань після зниження їх частоти способом гетеродинування. Але ця, на перший погляд, незначна різниця істотно змінила віддалемірну техніку, дала змогу перейти на економний імпульсний режим роботи та автоматизувати процес вимірювань і режим опрацювання. Це стало можливо завдяки тому, що процес вимірювань цифровими фазометрами триває дуже малі проміжки часу, а результат вимірювання є в кодовій формі. У віддалемірах

2-го та 3-го поколінь використовують посереднє визначення фазових домірів (для частот , які потрібні для виключення багатозначності). У віддалемірах 3-го покоління генератор генерує коливання вимірювальних частот, потрібних для виключення багатозначності; отже фазові доміри виміряють безпосередньо. Передавач , приймач і ФВП віддалеміра монтують звичайно в одному блоці , який називається прийомопередавачем. Він і відбивач – основні блоки віддалеміра , які під час вимірювань встановлюють на кінцях вимірювальної лінії. Якщо у віддалемірі виміряну частоту змінювати плавно, то в його комплекті є частотовимірний пристрій. Якщо частоти змінити дискретно, тобто їх перемикають, тоді зменшення частот приводять в паспорті віддалеміра і частотомір не потрібний. Прийомопередавач, а також частотомір (коли він є), живляться від акумулятора або бензоагрегата через перетворювач і розподільник напруги.

Лекція 6.

Джерела світла світловіддалемірів.

6.1 Електромагнітні хвилі оптичного діапазону

Електромагнітні хвилі оптичного діапазону у світловіддалемірів є несучими коливаннями, на яких розповсюджуються вимірювальні коливання між прийомопередавачем і відбивачем. У перших світловіддалемірах джерелом несучих коливань були лампи розжарювання, пізніше стали використовуватись також газорозрядні лампи. У сучасних світловіддалемірах джерелами світла служать лазери і світлодіоди. Для світловіддалемірів важливими характеристиками джерел світла є потужність випромінювання і його спрямованість, розміри поверхні випромінювання, спектральний склад випромінювання світлового потоку, потужність живлення і простота обслуговування. Від потужності випромінювання джерела залежить радіус дії світловіддалемірів. У світловіддалемірів, призначених для вимірювання коротких ліній, використовують джерела світла з невисокою потужністю випромінювання. Вони, як правило, вимагають і малої потужності живлення. До таких джерел

належать світлодіоди і напівпровідникові лазери. Газові лазери, потужність випромінювання яких є більшою, використовують у світловіддалемірах з великим радіусом дії, призначеними в основному для вимірювання сторін ДГМ. Потужність випромінювання джерела світла вимірюється у Вт. Але нерідко її оцінюють за дією випромінювання на око людини, тобто в фотометричних одиницях. Людське око чутливе до електромагнітних хвиль з довжиною 0,4-0,76 мкм. При цьому його чутливість неоднакова до випромінювання різних кольорів і залежить від довжини хвилі випромінювання. Максимальна чутливість припадає на довжину 0,555 мкм, тобто на випромінювання жовтого кольору. У фотометрії відповідником потужності випромінювання є світловий потік. Одиниця світлового потоку є люмен. Для переходу від Вт до Лм використовують відносну спектральну чутливість ока K_λ . Вона дорівнює відношенню чутливості ока до випромінювання з довжиною хвилі λ і його чутливості до випромінювання з довжиною хвилі $\lambda_0 = 0,555$ мкм.

$$W_{\text{вт}} = 680 K_\lambda \Phi_{\text{лм}} \quad (6.1)$$

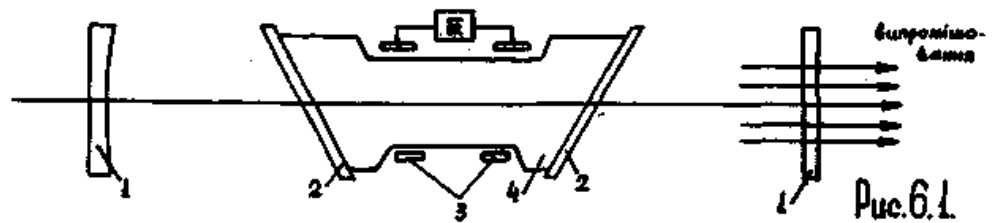
де $\Phi_{\text{лм}}$ –світловий потік випромінювання з довжиною хвилі λ в Лм;

При $\lambda_0=0,555$ мкм $K_\lambda=1$ і $1\text{Вт}=650\text{Лм}$ або $1\text{Лм}=0,0016\text{Вт}$.

Не менш важливою характеристикою, ніж потужність, є спрямованість випромінювання джерела світла. Якщо випромінювання джерела світла має велику інтенсивність, але заповнює собою великий тілесний кут, то ми використовуємо з нього тільки ту невелику частину, яка збігається з напрямком від передавача на відбивач, тобто тільки невелику частину потужності випромінювання. Якщо ця спрямованість є високою, то практично вся випромінювальна енергія може бути використана. Оптична схема формує випромінювання у вузькоспрямований промінь тільки тоді, коли поверхня випромінювання джерела має мінімальну площу. В ідеалі вона повинна бути близькою до точки. Важливим фактором також є спектральний склад та широта спектрального випромінювання джерела. Для того щоб втрати світлової енергії були мінімальні, максимальна інтенсивність випромінювання повинна припадати на ту ділянку спектра, до якої має максимальну чутливість перетворювач світла у фотострум або індикатор світловіддалеміра, а також для якої атмосфера є максимально прозорою. Ідеально

узгодити ці характеристики не вдається. Але до цього прямують. Перетворення світлового потоку у фотострум відбувається у ФЕП. Їх спектральна чутливість залежить від матеріалу, з якого виготовлений фотокатод. Так сурмяно-цезієві фотокатооди найбільш чутливі до голубого та зеленого випромінювання, а киснево-цезієві - до ультрафіолетового, червоного та інфрачервоного. Атмосфера найбільш прозора для червоного випромінювання. У світловіддалемірах бажано мати джерела світла з випромінюванням, близьким до монохроматичного, або з вузьким спектром випромінювання. Такі джерела, по-перше, дають можливість фільтрувати вузькосмуговими інтерференційними фільтрами того світлового потоку, що потрапив у приймач оптичної системи, виділити відбитий промінь, тобто корисний сигнал, тому що на них потрапляє не тільки відбитий світловий потік, а й розсіювання сонячного випромінювання та випромінювання сторонніх джерел. Здатність виділення корисного сигналу є дуже важливою, бо дає можливість працювати вдень.

6.2 Будова газового лазера показана на рис.6.1.



Будова газового лазера

Розглянемо коротко функціонування гелій-неонового лазера. Суміш газів Ne і He у відношенні 1:10 є в ньому активною речовиною. Цією сумішшю заповнена капілярна трубка 4 при p від 0,7 до 2 ГПа. На кінцях трубка розширена, і її кінці герметично закриті плоско паралельними пластинками 2, які розташовані під кутом Брюстера до вісі труби. Таке розташування пластинок забезпечує плоску поляризацію випромінювання лазера і зменшує втрати в ньому. Трубку встановлюють між двома дзеркалами 1, які утворюють активний оптичний резонанс. Ці дзеркала можуть бути вгнутими або плоскими. Для виходу випромінювання одне з дзеркал резонатора роблять частково прозорим. Збудження газу відбувається як під дією високочастотної, так і під дією постійної напруги. Для її підведення на трубу накладають або в неї впаюють електроди 3.

Енергетичні рівні лазера показано на рис. 6.2.

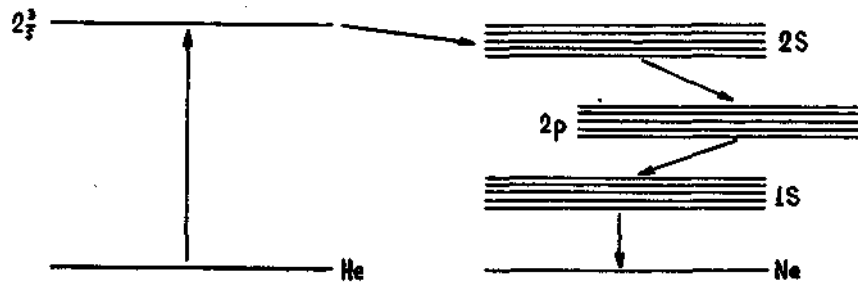


Рис.6.2.

Енергетичні рівні лазера

Атоми гелію і неону мають близькі енергетичні рівні. Атоми гелію збуджуються при електричному розряді і переходять на метастабільний рівень 2^3S . При зіткненні ні вони передають свою енергію атомам неону. Атоми неону збуджуються метастабільного рівня $2S$. Перехід $2S \rightarrow 2p$ дає інфрачервоне випромінювання. З рівня $2p$ атоми переходять на рівень $1S$, що супроводжується червоним випромінюванням. З рівня $1S$ атоми повертаються у вихідний стан в результаті зіткнення з іншими атомами або стінками трубки.

Рівні $2S, 2P, 1S$ є багатократні, тому випромінювання лазера здійснюється на багатьох червоних і інфрачервоних лініях. Щоб одержати випромінювання певної довжини хвилі, необхідно мати в резонаторі селективні дзеркала з високим коефіцієнтом відбиття для цієї довжини хвилі. Випромінювання, що виходить з трубки в напрямку її осі, багаторазово

відбивається дзеркалами резонатора і, при проходженні через суміш газів, підсилюється. При цьому воно формується у вузький пучок, тобто є високо спрямованим. Розбіжність пучка, що виходить через частково прозоре дзеркало резонатора складає від 20" до декількох мінут (в залежності від будови резонатора). Кут розбіжності випромінювання можна визначити за формулою:

$$\theta \approx 1.2 \frac{\lambda}{l} \quad (6.2) \quad \text{де } \lambda - \text{довжина хвилі}$$

випромінювання;

l - довжина резонатора в мм.

Така мала розбіжність дозволяє передавальній оптичній системі спрямувати на відбивач практично все випромінювання лазера. Газовий лазер працює в безперервному режимі, тому його потужність відносно невелика і залежить від довжини трубки. При довжині трубки 25 см потужність випромінювання 2-3 мВт, а при довжині 1 м потужність 25-36 мВт. Потужність живлення лазера – декілька десятків Вт. Отже його ККД не перевищує 0,01%. Цей недолік компенсує висока спрямованість випромінювання. Газовий лазер не вимагає охолодження, що зручно для польових умов. Ширина випромінюваних ним ліній спектру мала

(10 кГц). У СД застосовують лазери з довжиною хвилі випромінювання 0,6328 мкм, тому що є фотоелементи, чутливі до цієї ділянки спектра , та атмосфера її мало поглинає.

Лекція 7.

Принцип дії напівпровідникових оптичних генераторів.

Напівпровідниковий лазер показано на рис 7.1:

а) енергетичні зони;

б) схематичний вигляд напівпровідникового лазера.

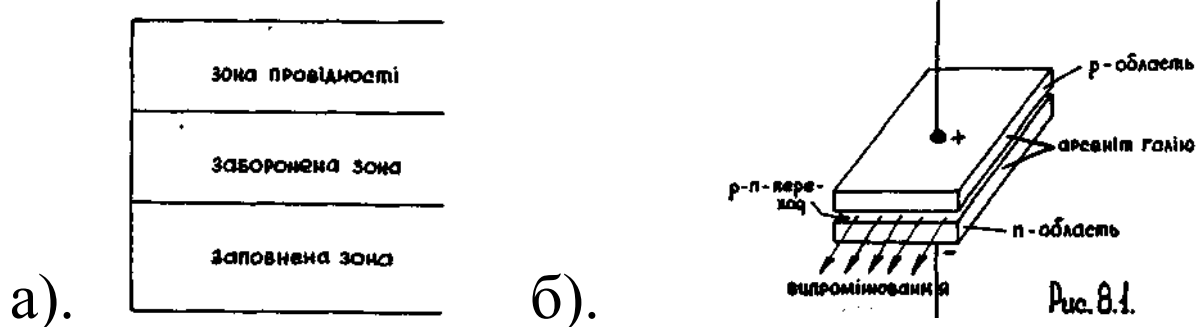


рис 7.1. Напівпровідниковий лазер

7.2 Принцип дії напівпровідникових оптичних генераторів

Принцип дії напівпровідникових оптичних генераторів є іншим, ніж газових лазерів, так як в напівпровідниках атоми мають сильний взаємний зв'язок. Тому в них енергетичні рівні вироджуються в зони. Верхню зону називають порожньою або зоною провідності, а нижню –

валентною або заповненою. Між ними знаходиться заборонена зона. Якщо електрону, який знаходиться в заповненій зоні, надати відповідну кількість енергії, то він перейде у верхню зону – зону провідності. При його поверненні у верхню зону відбувається рекомбінація електрона і дірки з виділенням кванту енергії. НПЛ складаються з двох частин: р- область і n- область. Перша з яких має електрону провідність, а друга – діркову. Межею між них є р-n-перехід. Він є енергетичним бар'єром, для подолання якого електронам і діркам потрібно надати деяку кількість енергії. Якщо через діод пропускати струм з області р до області n, не менший від деякого мінімального значення, яке називається пороговим струмом, то енергія електронів в n-області зростає і вони починають рухатись в напрямку р- області. В зоні р - n- переходу електрони впадають в дірки, що супроводжується випромінюванням. Зона р - n- переходу, яка є перпендикулярною до напрямку струму, є активною зоною НПЛ. Товщина цього переходу декілька мкм, а ширина – десяті частки мм. Дві грані діода, перпендикулярні до р - n- переходу, полірують і покривають діелектриком, завдяки чому вони набувають здатності

відбивати випромінювання. Ці грані виконують роль оптичного резонатора НПЛ (резонатора Фабрі – Перо). Одна з цих граней є частково прозорою. З неї отримуємо випромінювання. Інші грані діода є неполірованими (шорсткими). Розташування НПЛ лежить в ближній інфрачервоній ділянці спектра; його довжина хвилі 0,8 – 0,9 мкм. Ширина випромінювання залежить від температури кристала та сили струму і складає від 0,001 до 0,005 мкм. Розміри лазера дуже малі, наприклад 0,1 x 0,1 x 1,25 мм. Потужність випромінювання при охолодженні в рідкому азоті складає 10-25 мВт. Потужність живлення – 50 мВт. Отже, ККД НПЛ може досягати 50 %, тобто є дуже високим. Використання НПЛ ускладнене тим, що через велику щільність струму ($\approx 1000 \text{ А/см}^2$), яку потрібно пропускати через них, вони дуже швидко нагріваються і руйнуються. Щільністю струму (j) називають величину струму, що проходить через одиницю поперечного перерізу провідника, за одиницю щільності приймають А/см^2 тобто таку щільність, при якій через площадку в 1 кв. см, перпендикулярну до напрямку руху зарядів іде струм 1 ампер. Тому, для отримання безперервного випромінювання їх потрібно сильно охолоджувати. Це не дозволяє

використовувати у світловіддалемірах НПЛ в режимі безперервного випромінювання (без охолодження вони можуть працювати тільки в імпульсному режимі). Тому, сучасні розробки імпульсно – фазових світловіддалемірів дали можливість використовувати НПЛ. Коли через напівпровідник пропускати струм, менший від порогового , то рекомбінація відбувається хаотично, спонтанно. При цьому виникає некогерентне і немонохроматичне випромінювання , яке отримало назву рекомбінаційного. Діод який працює в такому режимі називається люмінесцентним діодом. Потужність випромінювання світлодіода набагато менша , ніж лазера (вона не перевищує 0,2мВт). Ширина спектра його випромінювання складає 0,01-0,03 мкм. ККД менше або дорівнює 1 %. Будова світлодіода не відрізняється від будови НПЛ. В ньому тільки не шліфують граней, бо оптичний резонатор для їх роботи не потрібний. Світлодіод працює безперервно при будь - яких температурах навколишнього середовища. Це робить його зручним джерелом світла для світловіддалемірів. Світловий потік , отриманий з світлодіодів та НПЛ , прямопропорційний силі струму, який протікає через нього. Це дає можливість в них проводити

модуляцію (внутрішню) інтенсивності випромінювання. Недоліком напівпровідникових джерел світла є так звана фазовість випромінювання. Причини цього - дефекти в будові напівпровідника, які призводять до появи в них ділянок в зоні р - n- переходу з менш сприятливими умовами для виникнення випромінювання. Внаслідок цього, в поперечному перерізі пучка, густина світлового потоку не є однаковою по всій поверхні перерізу. При модуляції випромінювання напівпровідникових джерел в площині поперечного перерізу пучка фаза модуляції інтенсивності через фазовість не є однаковою.

Лекція 8.

Способи модуляції світла.

8.1 Модуляція і інтенсивність світла

Модуляція – закономірна зміна вибраного параметра світлового потоку. У світловіддалемірах модулюють інтенсивність світлового випромінювання, або форму еліпса поляризації. Інтенсивність світла – це середня в часі густина світлового потоку. Вона прямо пропорційна до квадрата амплітуди електромагнітних коливань. Тому, модуляцію

інтенсивності світла можна вважати різновидністю амплітудної модуляції. До модуляції світла у світловіддалемірі ставлять декілька вимог: по-перше, в зв'язку з тим, що модулюючі коливання є вимірювальними, закон модуляції світла повинен бути гармонійним або близьким до нього. По-друге, частота модуляції світла повинна бути більшою або дорівнювати 10 мГц. По-третє, потрібно мати можливість без складних перетворювань змінити плавно або дискретно частоту модуляції світла. Інші два способи модуляції світла - внутрішня і зовнішня. Внутрішньою модуляцією називається такий спосіб, при якому періодичні зміни параметра світлового променя відбуваються безпосередньо в джерелі світла під впливом зміни напруги його живлення. Цим способом найпростіше модулювати інтенсивність випромінювання. Внутрішня модуляція можлива в газорозрядних лампах, НПЛ і світлодіодах. Найпростіше її здійснювати в двох останніх джерелах завдяки тому, що між інтенсивністю випромінювання і силою струму, який проходить через них, існує практично лінійна залежність. Для отримання модульованого за інтенсивністю випромінювання через напівпровідник

пропускають крім постійного струму I_0 ще змінний струм.

Інтенсивність випромінювання:

$$i_3 = I_3 \sin 2\pi ft \quad (8.1)$$

$$i = I_0 + I_3 \sin 2\pi ft \quad (8.2)$$

$$\Phi = K * i = \Phi_0 + \Phi_3 \sin 2\pi ft \quad (8.3)$$

K - коефіцієнт пропорційності , залежить від властивостей світлодіода чи лазера:

Φ_0 - постійна складова інтенсивності;

$$\Phi_0 = K + I_0 \quad (8.4)$$

$$\Phi_3 = K * I_3 \quad (8.5)$$

Φ_3 - амплітуда змішаної складової , яка у віддалемірі з'являється під впливом вимірювальних коливань.

i – сумарний струм.

8.2 Два способи модуляції світла

Таким чином, при живленні НПЛ чи світлодіода постійним і змінним струмом отримаємо гармонічний закон модуляції. Частота і фаза модуляції інтенсивності дорівнює частоті і фазі вимірювальних коливань. Зміна струму на світловіддалемірі чи НПЛ приводить до миттєвої зміни інтенсивності вимірювання, тобто можна

вважати, що в них відсутня інерційність. Завдяки цьому, в цих джерелах світла можна модулювати інтенсивність випромінювання на дуже високих частотах (до декількох гГц). Цей спосіб модуляції використовується в топографічних віддалемірах. При зовнішній модуляції джерело світла дає постійний світловий потік, а його модуляція здійснюється під впливом вимірювальної напруги в окремому пристрої, крізь який проходить світловий потік. Цей пристрій називається модулятором. Таким способом модулюють світло в сучасних віддалемірах з газовими лазерами. Його використовують також тоді, коли джерелами світла служили лампи розпарювання та газорозрядні лампи. Модулятори світла у віддалемірах мають відповідати вимогам, про які говорилося вище. Крім цього вони повинні бути простими, мати малу масу та мінімальну потужність живлення, приведення їх до робочого стану не повинно викликати труднощів. На їх роботу не повинні впливати зміни метеорологічних умов. Бажано, щоб їх прозорість була високою, щоб забезпечити мінімальні втрати світлової енергії. На жаль, модулятора, який задовольняє всім вимогам не має. Модулятори світла поділяються на 3 класи:

- 1.Механічні (найбільш прості);
- 2.Фізико-оптичні;
- 3.Електрооптичні.

8.3 Механічні і фізико-оптичні модулятори.

Механічні модулятори модулюють інтенсивність світла, але їми важко досягнути потрібної у віддалемірах частоти модуляції.

Фізико - оптичні модулятори теж модулюють інтенсивність світла. В них використовуються явища інтерференції або дифракції. В дифракційних модуляторах збуджують зміну **дифракційної ґратки** в рідині або в кристалі. Недоліком цих модуляторів є те, що вони модулюють світло на одній частоті. В історії розвитку світловіддалемірної техніки відомі факти використання фізико-оптичних модуляторів, але широкого розповсюдження вони не отримали. Тепер у світловіддалемірах застосовують тільки електрооптичні модулятори, робота яких основана на явищі штучного подвійного променезаломлення, що виникає під дією електричного поля.

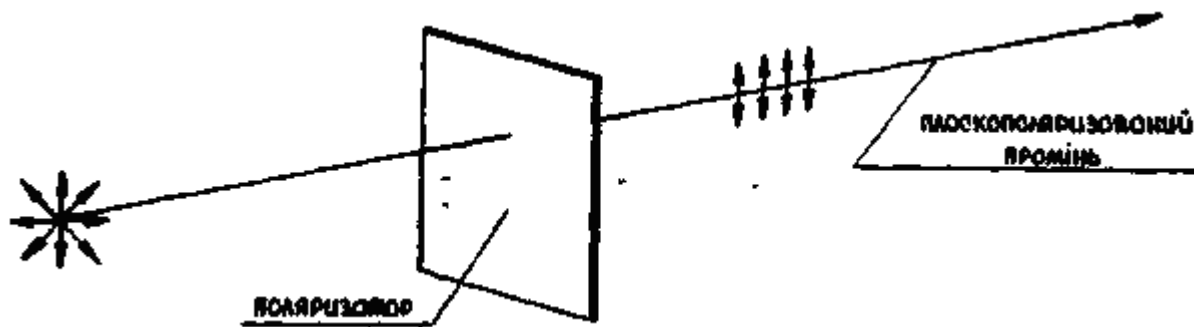


Рис. 8.1 Фізико-оптичні модулятори

Природний промінь після проходження поляризатора стає плоскополяризованим. В природних умовах подвійне променезаломлення спостерігають при проходженні світла через деякі кристали. Із теорії Максвелла відомо, що світло – це поперечні електромагнітні хвилі, бо в них електричний і магнітний вектори коливаються в площинах, перпендикулярних до напрямку розповсюдження хвиль. В природі промені коливання векторів однаково можливі у всіх перпендикулярних до променя напрямках. Якщо вектори коливань якимось чином впорядковані, то промінь називається поляризованим. В плоскополяризованому промені коливання електронного вектора відбувається в одній площині, а магнітного вектора в перпендикулярній до неї площині. Площина, в якій відбуваються коливання електронного вектора променя, називається

площиною коливань. Площина поляризації променя є перпендикулярною до площини коливань. Природний промінь потрапивши в кристал розкладається на два плоскополяризовані промені, площини коливань яких взаємно перпендикулярні.

Лекція 9.

Фазовий зсув променів.

9.1 Оптичні осі кристала

Показник заломлення цих променів в кристалі не однаковий. Тому вони розділяються в просторі і проходять крізь кристал з різними швидкостями. Але в кристалі є 1 або 2 напрямки, вздовж яких показники заломлення променів є однаковими. Ці напрямки називаються оптичними осями кристала. Залежно від кількості таких напрямків кристали поділяються на одно – і двовісні. В одновісних кристалах площину, яка проходить через падаючий промінь і оптичну вісь називають головною або головним перерізом. В одному з променів, який з'явився у кристалі, коливання відбуваються в площині, перпендикулярній головному перерізу, а в другому – в паралельній до нього площині. Перший з променів називається звичайним, бо його показник заломлення в кристалі є постійним. Тому шлях його в кристалі

підпорядковується законам оптики. Показник заломлення другого променя в кристалі залежить від кута падіння променя на кристал, і його шлях в кристалі не відповідає законам оптики. Цей промінь називається незвичайним. Показник заломлення обох променів у двовісному кристалі залежить від кута падіння на кристал. Тому вони обидва є незвичайними. Існують кристали в яких один з двох променів суттєво поглинається, тобто в них спостерігається дихроїзм. При певній товщині кристалу цей промінь повністю поглинається і з кристала виходить тільки один плоскополяризований промінь. Такі кристали використовуються для поляризації світла і їх називають поляроїдами. У світловіддалемірах для поляризації використовують полівінілові поляроїди. Це полівінілова плівка з нанесеним тонким шаром голкоподібних, **паралельно-орієнтованих** кристалів геропатиту (йодохініну). Цю плівку закріплюють між двома **плоско паралельними** скельцями. Поляроїд, що стоїть перший на шляху природного променя, називається поляризатором, а поляроїд, на який потрапляє вже поляризований промінь, називається аналізатором. Площину, в якій відбувається коливання електричного вектора променя після

проходження поляризатора, називають його площиною поляризації. Коли обертати поляризатор навколо вісі, що збігається з променем, то обертається і його площина поляризації. На оправі поляризатора часто наносять риси, які вказують на розташування його площини поляризації. Аналізатор, як і поляризатор, теж має площину поляризації. Коли на аналізатор падає плоскополяризований промінь, то з нього виходить тільки та складова частина променя, яка має коливання в його площині поляризації. Амплітуда цієї складової :

$$A = A_0 \cos \gamma \quad (9.1), \text{ де}$$

A_0 - амплітуда вектора променя, що падає на аналізатор;

γ - кут між площиною коливань променя і площиною аналізатора.

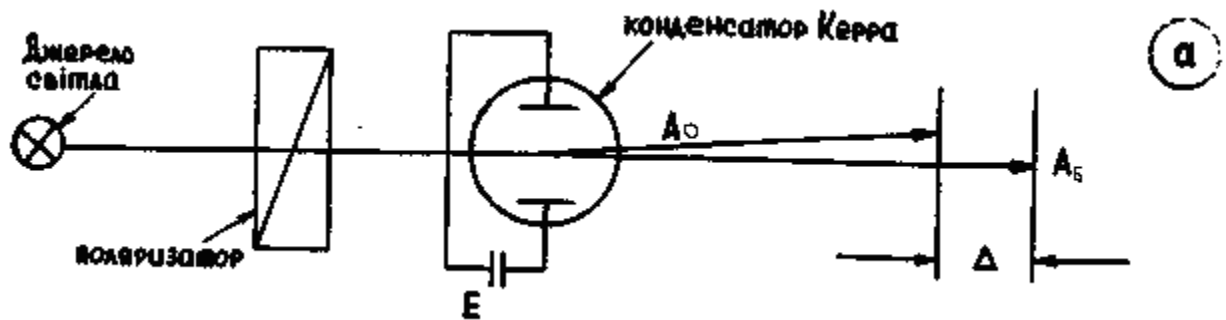
Інтенсивність складової, що пройшла аналізатор:

$$\Phi = \Phi_0 \cos^2 \gamma \quad (9.2)$$

9.2 Комірка Керра

Коли на шляху променя помістити поляризатор і аналізатор, то інтенсивність променя після їх проходження теж виражається формулою (9.2). В цьому випадку γ - кут між площинами поляризації поляризатора і аналізатора. Якщо ці площини є паралельними,

то через поляризатор і аналізатор проходить максимальний світловий потік. Коли ці площини взаємноперпендикулярні, то аналізатор гасить поляризований поляризатором промінь. В такому випадку кажуть, що аналізатор і поляризатор встановлені “на темноту “. В природному світловому промені всі значення кута γ з площиною поляризатора рівноможливі. Тому після його проходження інтенсивність променя дорівнює **середньоінтегральному** значенню : $\Phi_0 \cos^2 \gamma$, тобто $0,5 \Phi_0$. Отже, поляризатор теоретично допускає половину природного світлового потоку. В 1875 р. Керр виявив , що деякі рідини під дією електромагнітного поля набувають властивості одновісного кристала, вісь якого збігається з напрямком силової лінії електричного поля. Така зміна оптичних властивостей рідини названа ефектом Керра. Цей ефект найбільш чітко проявляється в нітробензолі $C_6H_5NO_2$. Нітробензол – це летка отруйна рідина жовто-зеленого кольору ; гігроскопічна, завдяки чому швидко розпадається; температура **затвердіння** $+5,1 \text{ } ^\circ\text{C}$; температура кипіння $+212 \text{ } ^\circ\text{C}$. Модулятори, робота яких базуються на цьому ефекті , отримали назви комірок Керра.



Неповна комірка Керра зображена на рисунку 9.1 (а – схема комірки), (б – розпадання променя в конденсаторі Керра).

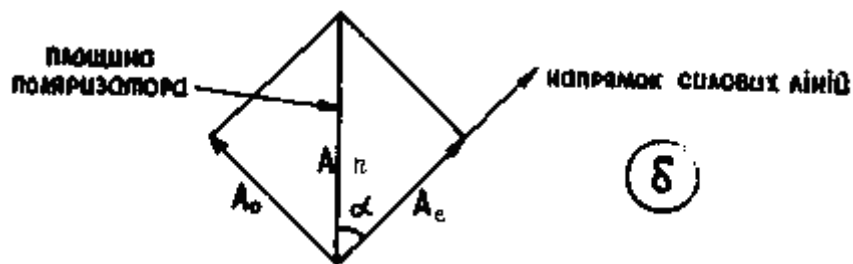


Рис. 9.1 Комірка Керра

Неповна комірка Керра складається з поляризатора і конденсатора Керра, в якому діелектриком служить нітробензол. Пластинки конденсатора Керра впаюють в скляну посудину, яку заповнюють нітробензолом і герметизують. Відстань між пластинками 0,7-1мм. Ємність конденсатора Керра $\epsilon \approx 15$ пФ, а тангенс діелектричних втрат в змінному електричному полі на частоті 10 мГц складає $3 \cdot 10^{-3}$. Скло для посудини конденсатора Керра вибирають таке, щоб його показник заломлення дорівнював

показнику заломлення нітробензолу, а перпендикулярні до променя стінки посудини роблять паралельними. Тому, конденсатор Керра в оптичній системі можна вважати **плоскопаралельною** пластинкою. Для того, щоб проявився ефект Керра, необхідно, щоб в конденсатор входив плоскополяризований промінь. Тому світловий промінь із джерела проходить спочатку крізь поляризатор, а потім зустрічає на своєму шляху конденсатор Керра. Світловий промінь проходить через нітробензол між пластинками конденсатора, які перпендикулярні до силових ліній. Коли до нього не прикладається напруга, то промінь проходить через конденсатор без змін. Коли до конденсатора прикладається напруга, то нітробензол між його пластинками набуває властивостей **одновісного кристала**. Плоскополяризований промінь, ввійшовши між площинами конденсатора, розкладається на 2 промені: звичайний і незвичайний (рис. 9.1.(б)). Площина коливань першого з них є перпендикулярною до силових ліній, а 2-го паралельною до них. Введемо такі позначення:

A_n - амплітуда коливань електромагнітного вектора променя після проходження поляризатора;

A_0, A_e - амплітуди коливань векторів відповідно звичайного і незвичайного променів;

α - кут між площиною поляризатора і напрямком силових ліній в конденсаторі.

Амплітуди векторів звичайного і незвичайного променів:

$$A_0 = A_n \sin \alpha, (9.3)$$

$$A_e = A_n \cos \alpha, (9.4).$$

У світловіддалемірі поляризатор і конденсатор Керра розташовані так, щоб амплітуди звичайного і незвичайного променів були однаковими, або щоб промінь розділявся в конденсаторі на 2 однакові частини. Це буде мати місце, коли $\alpha = 45^\circ$. Тоді:

$$A_0 = A_e = \frac{A_n}{\sqrt{2}}, (9.5).$$

Показники заломлення звичайного і незвичайного променів в нітробензолі між пластинами конденсатора є різними, тому в цьому проміжку швидкості променів теж є різними. Це є причиною того, що промені виходять із конденсатора з різницею оптичних шляхів Δ :

$$\Delta = (n_0 - n_e)l, (9.6), \text{ де}$$

n_0, n_e - показники заломлення нітробензолу між пластинами конденсатора відповідно звичайних і незвичайних променів;

l - довжина шляху променів в конденсаторі.

9.3 Фазовий зсув променів.

Цій різниці оптичних шляхів відповідає фазовий зсув променів:

$$\psi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda} = 2\pi \frac{(n_0 - n_e)l}{\lambda}, \quad (9.7), \text{ де}$$

n_0 і n_e - показники переломлення звичайного та незвичайного променів в нітробензолі;

λ - довжина хвилі випромінювання джерела світла;

l - шлях променів в нітробензолі.

Керр встановив залежність між фазовим зсувом і прикладеною до конденсатора Керра напругою E :

$$\psi = 2\pi \frac{B l E^2}{(300d)^2} - \text{формула Керра (9.8), де}$$

d - віддаль між пластинами конденсатора в см;

E - напруга в В;

B - постійна Керра;

Для нітробензолу при $t^\circ = 20^\circ\text{C}$ і при випромінюванні з довжиною хвилі $\lambda = 0,546$ мкм,

$$B = 2,2 \cdot 10^{10} \text{ см} / \text{В}^2.$$

Лекція 10.

Ефект Керра.

Фазовий зсув є прямопропорційний до квадрата прикладеної напруги, тому ефект Керра

називають квадратичним або параболічним. Найближчою важливою характеристикою конденсатора Керра є критична напруга $E_{кр}$. Коли до конденсатора прикласти напругу $E = E_{кр}$, то промені вийдуть з нього з зсувом $\psi = \pi$. Тоді

$$E_{кр} = 300d / \sqrt{2Bl} \quad (10.1) \quad \text{і} \quad \psi = \frac{\pi E^2}{E_{кр}^2} \quad (10.2).$$

Ця формула показує, що змінюючи напругу на конденсаторі, можна змінювати фазовий зсув ψ променів. Тому неповною коміркою Керра можна модулювати промені за фазовим зсувом.

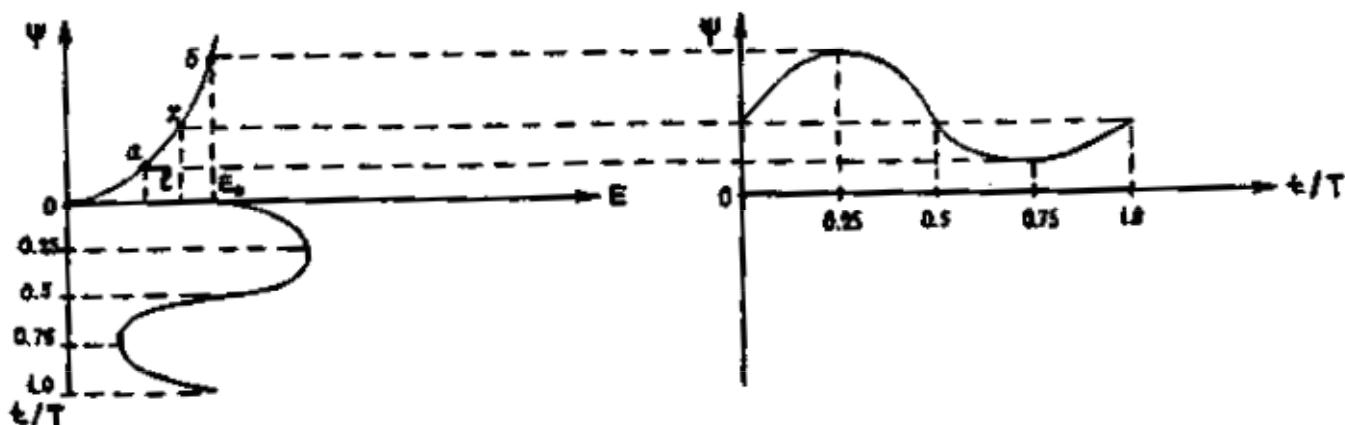


Рис. 10.1 Фазовий зсув променя ψ

10.1 Статична і модуляційна характеристики неповної комірки Керра.

На рис.10.1 показана статична і модуляційна характеристики неповної комірки Керра.

Залежність між фазовим зсувом і напругою на конденсаторі неповної комірки Керра показано

на рис. 10.1. вона має форму параболи. Графічні залежності між величиною, яку модулює модулятор, і напругою називається статичною характеристикою модулятора. Побудуємо модуляційну характеристику неповної комірки, тобто графік залежності фазового зсуву від часу при заданій напрузі, прикладеній до його конденсатора. Щоб зміна фазового зсуву відбувалася по гармонічному закону, крім змінної напруги $R \cdot \sin 2\pi ft$, потрібно прикладати постійну напругу зміщення E_0 . Це дає можливість працювати на прямолінійній ділянці, або на ділянці статистичної характеристики. Графік напруги побудований під статичною характеристикою.

$$E = E_0 + e \cdot \sin 2\pi ft \quad (10.3).$$

Величина $T=1/f$ є періодом змінної напруги, а праворуч від неї отримана модуляційна характеристика для проміжку часу t . **Таким чином, на прямолінійній ділянці статичної характеристики при напрузі (10.3) відповідає гармонічний закон зміни фазового зсуву.** При цьому частота і фаза зміни фазового зсуву дорівнює частоті і фазі змінної напруги. Плоскополяризований промінь йде в конденсатор Керра перпендикулярно до силової лінії, тобто перпендикулярно до оптичної осі, яка з'являється в нітробензолі. В такому випадку

звичайний і незвичайний промені не розділяються в просторі. При суперпозиції (накладанні) двох когерентних променів з взаємно перпендикулярними площинами коливань одержимо сумарний, еліптично поляризований промінь. Електричний вектор коливань такого променя рівномірно обертається навколо нього, а його кінець описує еліпс. Форма його залежить від амплітуди коливань променя, які накладаються, і фази зсуву променя. В неповних комірках Керра амплітуди коливань є однакові завдяки відповідному розміщенню поляризатора і конденсатора Керра. Тому форма еліпса поляризації залежить тільки від фазового зсуву.

10.2 Фотоелектронні помножувачі та фотодіоди.

ФЕП – це електровакуумний прилад, робота якого базується на фотоелектронній та вторинній електронній емісії.

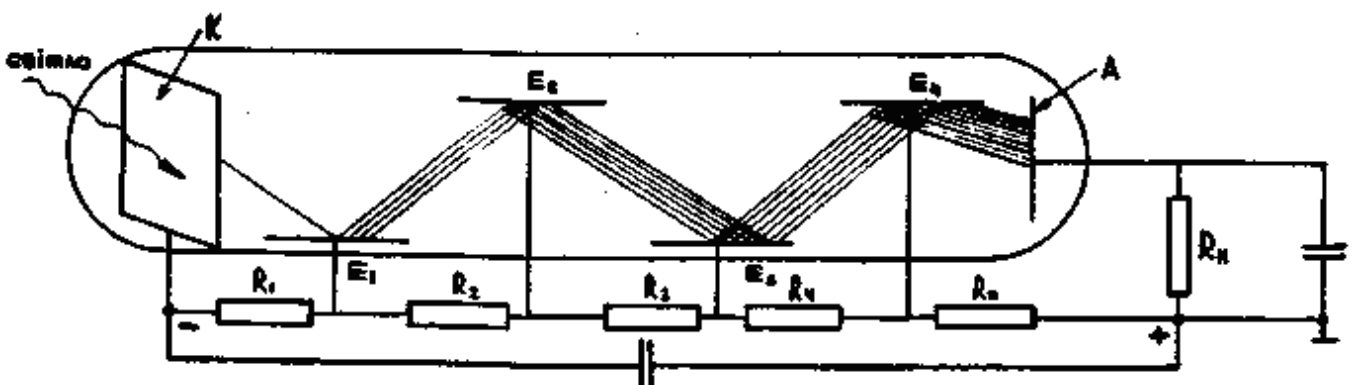


Рис. 10.2 Фотоелектронний помножувач

На рис. 10.2 зображено ФЕП. Основними елементами ФЕП є фотокатод К, від 7 до 14 емітерів Е і анод А. Все це впаяно в скляний балон. На ці електроди подають напругу так, щоб різниця потенціалів між анодом і першим емітером, першим і другим емітером постійно зростала. Емітер виготовляють з такого матеріалу, щоб при падінні електрону з достатньою кінетичною енергією вибивалося з них декілька електронів, тобто з матеріалу, в якому спостерігається явище вторинної електронної емісії. Світловий потік, що падає на фотокатод ФЕП, вибиває з нього електрони, тобто відбувається явище зовнішнього фотоефекту. Вибиті електрони, під впливом прискорюючого електричного поля, прямують на перший емітер і вибивають з нього електрони, які потрапляють на другий емітер і так далі. З кожного емітера вибивають більше електронів, ніж на нього їх падає, тому в процесі переходу від одного емітера до іншого відбувається помноження електронного потоку. Найбільший електронний потік потрапляє на анод. При 10 емітерах коефіцієнт помноження ФЕП досягає 10^5 - 10^6 . Анодний струм I_a , який протікає через навантаження ФЕП, є пропорційний до

інтенсивності світлового потоку Φ , який падає на фотокатод:

$I_a = K_\Phi \Phi$ (10.4), де K_Φ – коефіцієнт чутливості , який характеризує ФЕП.

Розрізняють інтегрований і спектральний коефіцієнти чутливості. Інтенсивний коефіцієнт чутливості ФЕП дорівнює фотоструму в анодному колі ФЕП (в А) при освітленні його катода білим світлом в 1 Люмен. Спектральний коефіцієнт чутливості характеризує чутливість ФЕП до заданої ділянки спектра світлового потоку, який падає на фотокатод. Інтенсивний коефіцієнт чутливості ФЕП може приймати значення від 30-200 мкА/Лм.

У віддалемірах використовують фотоелектронні помножувачі типів ФЕП –17 , ФЕП-28, ФЕП-38. в перших двох помножувачах катод масивний і працює на відбиття , а в третьому він напівпрозорий. Всі ці ФЕП локальної конструкції. У ФЕП-17 і ФЕП-38 є додаткові виводи на бокові станції балона.

ФЕП мають ряд позитивних властивостей , завдяки чому їх широко використовують. Сюди слід віднести високу чутливість, на малий темновий струм, що дозволяє проводити вимірювання при слабких відбиттях світлових сигналів, малу інерційність, яка дає можливість

використовувати високу частоту модуляції світлового потоку. На параметри ФЕП практично не впливають зміни зовнішніх умов, що є дуже важливим.

Основним недоліком їх є те, що ФЕП живляться високою напругою.

Це особливо незручно в малих топографічних віддалемірах. Тому в них тепер ФЕП замінюють фотодіодами.

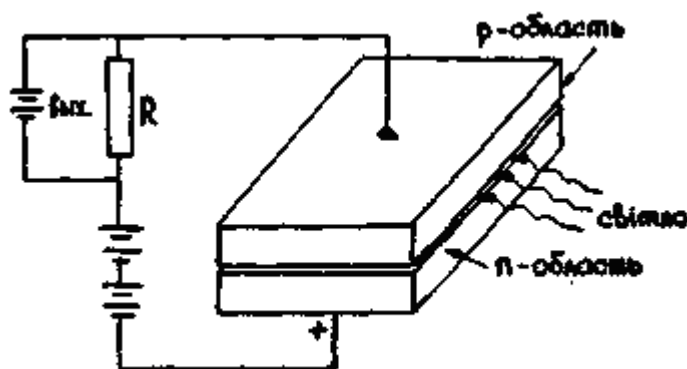


Рис. 10.3 Фотодіод

На рис.11.1 показано будову фотодіода. В фотодіодах використане явище внутрішнього фотоефекту, що заключається в перерозподілі електронів по енергетичних рівнях під дією світлового потоку.

Фотодіод — це напівпровідник з р-n-переходом. До нього прикладають напругу в заперному напрямку, при тому так, щоб не проходив струм через р-n-перехід. Коли світлодіод не освітлюється, то через опір R протікає дуже малий струм, який називається

темновим. При падінні світлового потоку на р-п-перехід в ньому виникають пари “електрон - дірка”, для яких в р-п-переході є дуже малий опір. В наслідок цього в зовнішньому полі фотодіода з’являється струм, сила якого є прямо пропорційною до падаючого на р-п-перехід світлового потоку.

Світловіддалеміри використовують кремнієві фотодіоди, які найбільш чутливі до випромінювання з довжинами хвилі 0,8-0,9 мкм, тобто до інфрачервоного випромінювання.

Чутливість їх досягає 0,4-0,5 А/Вт. Енергійність фотодіодів не перевищує 10^{-7} - 10^{-8} секунди, тому їх можна застосовувати при частоті модуляції інтенсивності світла до 100 МГц. Недоліком фотодіодів є дуже низька вихідна напруга, особливо при слабких відбитих сигналах. Тому при використанні фотодіодів необхідні підсилювачі з дуже високим коефіцієнтом підсилювання, що є причиною появи шумів. Цей недолік відсутній у лавинних фотодіодах, принцип дії яких нагадує роботу ФЕП. До лавинних фотодіодів прикладають запірну напругу, дуже близьку до напруги пробиття. Тому електрони, які вибивають кванти світла, рухаються з дуже великою швидкістю. При зіткненні електронів з атомами

гратки кристалу з'являються додаткові пари "електрон - дірка". Нові електрони, які при цьому з'являються, і вибиті світловим потоком збільшують електричне поле, і вони продовжують при зіткненні з атомами ґратки вибивати нові електрони. Отже, спостерігається лавинний ефект. Завдяки цьому, через опір навантаження в лавинних фотодіодах протікає набагато більший струм ніж в звичайних фотодіодах. Коефіцієнт помноження фотоструму в лавинних фотодіодах досягає 100, що значно менше, ніж у ФЕП, але вони є чутливішими від ФЕП до дуже слабких світлових потоків. Це робить їх застосування перспективним. Лавинні фотодіоди можна застосовувати при частоті модуляції світла до 40 ГГц. Їх розміри дуже малі, а напруга живлення складає 15-30 В.

Лекція 11.

Оптичні системи світловіддалемірів.

Світловіддалеміри мають 3 основні оптичні системи:

1. Передавальну;
2. Відбиваючу;
3. Приймальну.

Крім цього в них є ряд допоміжних систем, таких, як візуюча система, коротке оптичне замикання, оптичні лінії затримки, фільтри та

інші. Наявність тих чи інших допоміжних оптичних систем обумовлена принципом дії світловіддалеміра. Розмір та маса передавальної, а також приймальної оптичної системи визначають габарити прийомопередавача в цілому та мають вплив на його масу. Тому, при конструюванні світловіддалемірів прагнуть вибрати такі оптичні системи, які б задовільняли усім вимогам і мали мінімальні розміри і масу. Основні оптичні системи посилають модульований світловий потік вздовж вимірюваної лінії, відбивають, а потім приймають його. Все це повинно відбуватися з мінімальними втратами світлової енергії і з мінімальним спотворюванням світлової модуляції. Кожна з цих систем повинна забезпечувати високу направленість випромінювання. Передавальний оптичний тракт включає в себе всі оптичні елементи, які знаходяться на шляху випромінювання джерела світла в передавачі. Він повинен сформувати з цього випромінювання вузький пучок, спрямований вздовж напрямку на відбивач. Якщо поверхня випромінювання джерела світла не є точною, що практично є завжди, то оптична система формує з цього випромінювання непаралельний розбіжний пучок променів. Чим

більший розмір поверхні випромінювання, тим більша розбіжність пучка. Для зменшення розбіжності збільшують фокусну віддаль передавальної оптичної системи, бо розмір перерізу пучка в площині відбивача, що встановлюється на віддалі S , має діаметр d .

$$d = l \cdot \frac{S}{f} \quad (11.1)$$

де l – діаметр перерізу світлового пучка в фокальній площині передавальної оптичної системи;

f - фокусна віддаль системи.

Перед овальними оптичними системами в багатьох світловіддалемірах є звичайні телескопічні труби, тобто лінзові системи. Вони складаються з складного об'єктива і фокусної лінзи. Ці системи є простими, дешевими і водостійкими. Єдиним їх недоліком є значний поздовжній розмір, який дорівнює фокусній віддалі системи (лінзової). Для зменшення маси та габаритів передавальної оптичної системи з великими фокусними віддалями лінзові системи змінюють дзеркально-лінзовими.

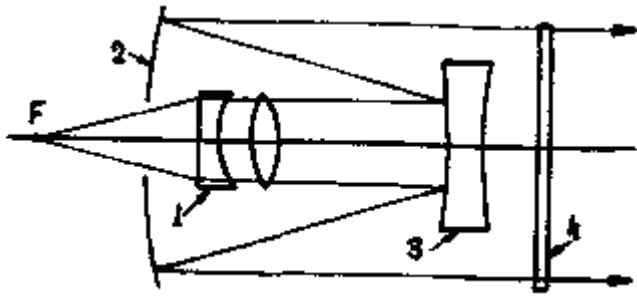


Рис. 11.1 Передавальна оптична система

На рис. 11.1 зображена дзеркально-лінзова передавальна система, що складається з об'єктива 1, великого сферичного дзеркала 2, дзеркально-лінзового компонента 3, який приклеюють до захисної скляної пластинки 4. У світловіддалемірах, які виготовлені в бувшому СРСР використовували лазери з розбіжністю в декілька мінут. При розбіжності в $2'$ на $S = 10$ км переріз при відсутності оптичної системи = 6 м. Лінзова телескопічна *колімуюча* оптична система зменшує його до 0,4-0,6м, тобто в 10 разів.

Широке застосування у віддалемірах отримали зеркально-лінзові і призменні відбивачі, в орієнтуванні. Зеркально-лінзовий відбивач складається із об'єктива і зеркала, розташованого у фокусі об'єктива перпендикулярно його оптичній осі. Тоді прийнятий і відбитий промені паралельні. Практично ця паралельність зберігається, якщо падаючий промінь складає кут з віссю об'єктива

не більший 1° . При точному виготовленні відбивача і кута падіння меншого 1° , його розсіювання не перевищує $30''$.

Збільшення світло збору зеркально-лінзовим відбивачем можна досягнути тільки збільшуючи діаметр отвору об'єктива або встановлюючи декілька відбиваючих елементів. Тому застосовують мозаїчні і призмені відбивачі.

Додатки.

ОПТИЧНІ ДЕТАЛІ І СИСТЕМИ В ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДАХ

1. Положення і закони геометричної оптики

Геодезичні прилади представляють собою переважно оптико-механічні прилади, теорія оптичних вузлів систем яких базується на геометричній оптиці.

Геометрична оптика оперує поняттям світлової точки і світлового променя і не зачіпає фізичної природи світла, тобто не пояснює такі явища як дифракція, і інтерференція і поляризація світла. Теорія геометричної оптики базується із декількох простих положень геометричного характеру, які наближено відбивають закономірності розповсюдження світла в різних оптичних середовищах.

Основним положенням геометричної оптики є принцип Ферма, установлений біля 1660 р.. Він стверджує, що світло поширюється із однієї точки в другу по відстані, що потребує мінімального часу порівняно з будь-яким іншим геометрично можливим шляхом між цими

точками. Цей принцип дозволяє найбільш просто і з достатнім ступенем точності пояснити хід променів світла в багатьох оптичних системах, які розширюють можливості візуальних спостережень і будують дійсне зображення різних об'єктів. Із цього принципу випливають чотири основні закони геометричної оптики, встановлені експериментально із спостережень за оптичними явищами.

Першим законом геометричної оптики є закон прямолінійного розповсюдження світла, згідно якому в однорідному прозорому середовищі світло розповсюджується по прямих лініях.

Оптично однорідним середовищем є таке, в якому світло розповсюджується з постійною швидкістю. Якщо є два середовища, в яких світло розповсюджується з різними швидкостями, то середовище, де світло розповсюджується з меншою швидкістю, називають більш оптично щільним, а середовище, де світло розповсюджується з більшою швидкістю – менш оптично щільним [15].

На жаль, атмосфера, в якій звично ведуться геодезичні вимірювання, не є однорідною, і світло в ній розповсюджується не прямолінійно,

а по деяких просторових кривих. Скривлення світлових променів атмосферою називають атмосферною рефракцією [1]. Урахування дії рефракції при геодезичних вимірюваннях – складна фізична задача.

Другим законом стверджується взаємна незалежність розповсюдження світлових променів. Світлові промені, наближаючись, перетинаючись не впливають один на другого і кожний промінь розповсюджується так, начебто інших променів не існує.

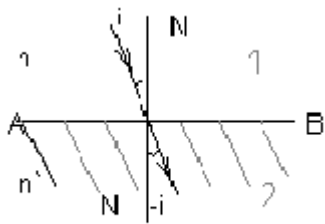


Рис1.1. Заломлення променя

Третій закон відбиття і четвертий закон заломлення характеризують дію світлового променя на межі поділу оптичних середовищ. Ці закони мають спільність, в зв'язку з чим їх доцільно розглядати разом [16].

Якщо промінь іде із оптичного середовища 1 в середовище 2 (рис. 1.1.), то на поверхні АВ розділу середовищ відбувається його часткове відбиття і заломлення, або тільки відбиття. Останнє можливе на непрозорих оптичних

поверхнях, а також при певному внутрішньому відбитті. При цьому:

1.Промінь падаючий, відбитий і заломлений разом з нормаллю NN до поверхні в точці O падіння променя знаходяться в одній площині.

2.Кут падіння променя і кут його відбиття рівні по абсолютному значенню і протилежні по знаку:

$$i_1 = -i_1', \quad (2.1)$$

3.Відношення синуса кута падіння променя до синуса кута заломлення є величина постійна для двох даних оптичних середовищ:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{2,1} = const, \quad (2.2)$$

де $n_{2,1}$ – відносний показник заломлення другого середовища відносно першого.

Якщо одне із середовищ, наприклад, перше, - вакуум, то показник заломлення другого середовища по відношенню до вакууму називається абсолютним показником заломлення цього середовища. Абсолютний показник заломлення або просто показник заломлення визначається формулою:

$$n = \frac{c}{g}, \quad (2.3)$$

де c – швидкість світла в вакуумі ($c=3 \cdot 10^8$ м/с),

v - швидкість світла, в даному середовищі.

Показник заломлення вакууму приймається рівним одиниці, а показники заломлення будь-яких інших оптичних середовищ завжди більші одиниці: це значить, що швидкість світла в будь-якому середовищі завжди менша, чим у вакуумі. Наприклад, для повітря при $t=20^{\circ}\text{C}$ і тиску 760 мм рт. ст. абсолютний показник заломлення дорівнює 1,000294. В геометричній оптиці його округлюють до одиниці.

Відносний показник заломлення двох середовищ зв'язаний з абсолютним показником заломлення цих середовищ виражається наступним співвідношенням:

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1}, \text{ або} \quad n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (2.4)$$

Значення, що дорівнює добутку показника заломлення на синус кута між променем і нормаллю в одному середовищі $n_1 \sin i_1$, або $n_2 \sin i_2$ називають оптичним інваріантом.

Наслідком законів відбиття і заломлення є закон зворотності. Наприклад: закон зворотності для кута заломлення характеризується співвідношенням:

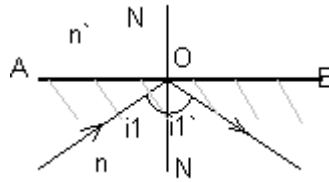


Рис.1.2. Повне внутрішнє відбиття

$$n_{1,2} = \frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{1}{n_{2,1}} \quad (2.5)$$

Якщо напрям променя змінити на зворотній, то він пройде назад всю систему по тому ж самому шляху і кут падіння і заломлення не змінюється.

За допомогою закону зворотності розглянемо явище повного внутрішнього відбиття, яке виникає від поділу двох оптичних середовищ поверхнею АВ (рис. 1.2). При переході променя із оптично більш щільного середовища в оптично менш щільне ($n > n'$) промінь відхиляється від нормалі на кут i'_1 більший кута падіння i_1 . При збільшенні кута падіння кут заломлення також збільшується і при деякому куті падіння $i_{гр}$ досягає значення $i' = 90^\circ$. Кут падіння $i_{гр}$ при якому кут заломлення дорівнює 90° називається граничним кутом.

Промені, кут падіння яких більше граничного кута, наприклад промінь з кутом i_2 , вже не пройдуть в друге середовище, а повністю відіб'ються в перше середовище. Це явище

називається повним внутрішнім відбиттям, а граничний кут називають також кутом повного внутрішнього відбиття.

Для граничного кута кут заломлення $i'=90^\circ$;
 $\sin i'=1$

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = \sin i_{cp} = n_{2,1} = \frac{n'}{n} \quad (2.6)$$

Якщо друге середовище – вакуум, то $n'=1$

$$\sin i_{cp} = \frac{1}{n} \quad (2.7)$$

По формулі (2.7) можна підрахувати значення кутів повного внутрішнього відбиття для різних середовищ. Наприклад для скла марки К – 8 з $n=1,516$ $i_{гр}=41^\circ 16'$, для скла марки ТФ – 10 з $n=1,806$ $i_{гр}=33^\circ 39'$, для повітря з $n=1,00029$ $i_{гр}=88^\circ 37'$, а для води з $n=1,33$ $i_{гр}=48^\circ 50'$.

Явище повного внутрішнього відбиття широко використовується в геодезичних приладах до зміни напрямку променів.

Таким чином, чим більший показник заломлення середовища, в якому спостерігається явище повного внутрішнього відбиття, тим меншій граничний кут, при якому воно розпочинається.

2. Поняття геометричної оптики

Згідно хвильової теорії, точечному випромінювачу відповідає сферична хвильова поверхня, яка розповсюджується від джерела світла у вигляді електромагнітних хвиль. Хвильовою поверхнею називають поверхню, до якої будь-який із променів пучка перпендикулярний. Так, по суті, переходять від хвильової оптики до геометричної.

Від світлової точки промені ідуть у всі боки, створюючи необмежений пучок. Гомоцентричним пучком (тобто що має загальний центр) називається пучок променів, який виходить із однієї точки або збігається в одній точці. Якщо гомоцентричний пучок променів, що виходить із точки S , після проходження оптичної системи збігається також в одній точці S' , тобто залишається гомоцентричним, то точка S' є зображенням точки S . Таке зображення називається стигматичним, тобто точечним (рис. 2.1).

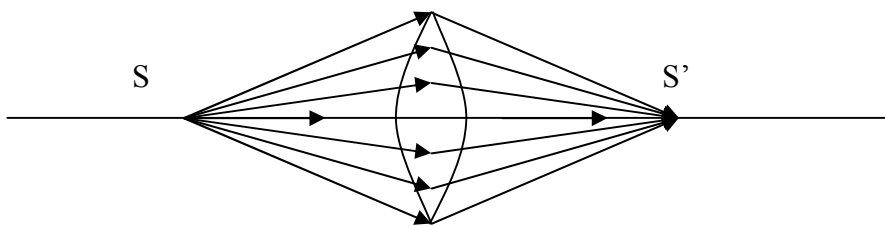


Рис. 2.1. Стигматичне зображення пучка променів

На основі закону зворотності світлових променів точку S' можна розглядати як предмет і тоді її зображення буде в точці S . Точки S і S' називаються сполученими точками, а відповідні пучки променів сполученими пучками.

Астигматичним називається пучок променів, який не збігається в одній точці. Хвильова поверхня для астигматичного пучка відрізняється від сферичної. При проходженні через оптичну систему гомоцентричні пучки в більшості обертаються в астигматичні, а їх хвильова поверхня деформується і перестає бути сферичною. В цьому випадку оптична система має аберації.

Гомоцентричний пучок, що дійсно збігається в точку, дає її дійсне зображення. Якщо після відбиття і заломлення гомоцентричний пучок не збігається в точку, а в ній перехрещуються геометричні продовження променів, то таке зображення називається уявним. Уявне зображення точки не може бути зафіксовано на екрані, фото чутливому шарі, а сприймається тільки візуально.

Якщо світло рухається до центру пучка, то пучок називається збіжним, а якщо промені

розходяться від центру – розбіжним, а з центром, що знаходиться в нескінченності – пучком паралельних променів. Паралельний пучок променів дає зображення точки в нескінченному просторі.

Сукупність точок простору, де розташовані предмети від яких виходять промені, називається простором предметів. Кожній точці простору предметів відповідає сполучена їй точка в просторі зображень.

Оптичною віссю називається пряма, що збігається з напрямом променя, який проходить через оптичну систему без заломлення.

Промені, що розташовані поблизу оптичної вісі, тобто створюють з оптичною віссю малі кути, називаються параксіальними (при осьовими) променями.

В геометричній оптиці при побудові ходу променів і зображень прийняті певні правила знань, передумовою до яких є розташування простору предметів зліва від оптичної деталі або системи. При цьому за позитивний напрямок розповсюдження світла прийнято напрям зліва направо. Порядок відліку заломлюючих поверхонь і оптичних деталей також зліва на право.

3. Оптичне скло, його характеристики і виготовлення

Будь-який геодезичний прилад складається з великої кількості оптичних і механічних деталей. Технологія виготовлення оптичних деталей відрізняється від технології виготовлення механічних деталей. Для виготовлення оптичних деталей використовують:

а) оптичне безкольорове скло, оптичне кольорове скло, спеціальні (кварцові і органічні) стекла і ситали;

б) метали;

в) кристали і полімери.

Відповідальні оптичні деталі виготовляють із оптичного силікатного скла, яке відрізняється від технічного більш високою прозорістю для видимої області спектру, великою твердістю, хімічною стійкістю і однорідністю.

Промисловістю виготовляється 16 типів оптичного безкольорового скла, відповідно і оптичного кольорового скла, (відповідно до ДЕСТ 3514 – 76 і ДЕСТ 9411 – 81). Основою оптичного скла є кварцовий пісок.

Оптичне скло буває двох основних видів: крон і флінт. Останні в свою чергу, поділяються

на типи, а типи – на марки, які відрізняються між собою хімічним складом, величиною показника заломлення і коефіцієнтом дисперсії. Крони мають показник заломлення в межах $n_e 1,45 \div 1,57$ (тяжкі – 1,74). Найбільшого застосування із кронів набули наступні марки стекол: легкі крони ЛК5, ЛК105; крони К2, К8, К108; баритові крони БК6, БК8; фосфатні крони ФК, ТФК; тяжкі крони ТК2, ТК14; особливий крон ОК; крон флінти КФ4, КФ104.

Крони – тверді стекла які складаються на 60% SiO_2 – кварцового піску і мають спектр яскравого кольору.

Флінти – м'які і тяжкі стекла (до 44% SiO_2) і мають темний спектр. Показник заломлення флінтів $n_e 1,54 \div 2,04$. Із флінтів на виробництві набули поширення такі марки стекол: легкі флінти ЛФ5, ЛФ105; флінти Ф1, Ф4, Ф6; тяжкі флінти СТФ; особливі флінти ОФ; тяжкі баритові флінти ТБФ. Флінти відрізняються один від другого наявністю в крон флінті до 15%, в тяжкому флінті більше 50%.

Крім показника заломлення оптичне скло характеризується коефіцієнтом дисперсії v . Цей коефіцієнт запровадив Аббе, тому його

називають числом Аббе. Для кронів $\nu=50-70$, для флінтів $\nu=18-50$.

Кольорове оптичне скло визначається кольоровим тоном і густиною забарвлення:

- хімічним складом барвника;
- режимом варіння і термічної обробки.

В позначенні кольорового скла присутня буква кольору і номер марки, наприклад, УФС-1 ультрафіолетове скло.

До спеціальних стекол відносяться кварцові і органічні. Кварцове скло є дорогим. Воно являє хімічну частину окису кремнію і характеризується:

- більш високою твердістю;
- малим коефіцієнтом лінійного розширення;
- доброю хімічною стійкістю.

В оптичних приладах мають застосування три марки кварцових стекол: КУ – для ультрафіолетової області спектра; КВ – видимої; КИ – інфрачервоної. Органічне скло крихке і змінює розмір в залежності від зміни температури. Тому його застосовують в мало відповідальних деталях, наприклад, як захисне.

Ситали – оптичне скло, яке отримують в результаті спеціальної термічної обробки до стану, коли величина кристалів не перевищує 5 мкм. У ситалів коефіцієнт лінійного розширення

малий, може дорівнювати нулю, а інколи буває навіть від'ємний. В останньому випадку при нагріванні розмір деталей зменшується.

Різновидністю ситалу є фото чутливий ситал, який застосовують для спеціальних геодезичних приладів, що працюють в умовах екстремальної зміни яскравості, наприклад, космічних секстантів. Фотохромний шар скла темніє при появі в полі зору яскравого об'єкту, захищаючи спостерігача від надмірної кількості світла.

Металеві пластинки із сталі, алюмінію і мідних сплавів, після відповідного шліфування і полірування, застосовують як відбивні деталі для передачі зображення в поле зору приладу.

У кристалів і полімерів, на відміну від оптичного скла, більш висока прозорість в ультрафіолетовій і інфрачервоній областях спектра. В них більш широкий діапазон величини показника заломлення n_e і коефіцієнта дисперсії ν . Наприклад, ісландський шпат (кальцит) має сильне подвійне променезаломлення і використовується в поляризаційних приладах, а германій і кремній, які в видимій області спектра не прозорі, використовуються в інфрачервоній області і мають показник заломлення $n_e \approx 4$.

4. Плоскі дзеркала. Системи двох плоских дзеркал

Дзеркалом називається оптична деталь, обмежена однією відбиваючою поверхнею або однією відбиваючою і однією заломлюючою поверхнями. Шар металів чи діелектриків наноситься на поверхню оптичної і створює зовнішнє відбиття (рис. 4.1. а), а в другому – на поверхню і створює внутрішнє відбиття з заломленням на верхній поверхні (рис. 4.1. б). В залежності від форми поверхні розрізняють дзеркала плоскі, сферичні і асферичні. В геодезичних приладах застосовуються в основному плоскі дзеркала, інколи сферичні.



Рис. 4.1. Плоске дзеркало з зовнішнім і внутрішнім відбиттям.

Плоскі дзеркала дозволяють отримати зображення предмету і змінюють напрям ходу променя.



Рис. 4.2. Зображення точки (а) і предмету (б) плоским дзеркалом.

Побудова зображення точки або предмету виконується відповідно до закону відбиття. Пучки відбитих променів, що належать кожній точці, - розходяться, таким чином, що дійсного

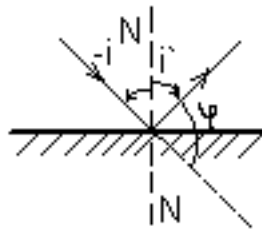


Рис.4.3. Відхилення променя плоским дзеркалом зображення вони не дають, але їх продовження дають уявне зображення точки S' (рис. 4.2. а) і точок предмету A' і B' (рис. 4.2 б) які відповідають точкам A і B . Таким чином, зображення в плоскім дзеркалі буде уявним, рівним предмету, розташовуватись на такій же відстані від дзеркала як предмет, не конгруентним (не збігатися) в тому розумінні, що його не можливо поєднати з предметом, як праву руку неможливо поєднати з лівою.

Непарне число відбиття від плоских дзеркал дає не обернене зображення, а парне число – цілком обернене, сполучене з предметом зображення.

В конструкціях геодезичних приладів головним чином використовується властивість плоского дзеркала змінювати напрям ходу променів. Розглянемо далі залежність між поворотами дзеркала і відбитого променя.

У відповідності з законом відбиття світла промінь відбивається від плоского дзеркала під тим же кутом, під яким падає. Зміна напрямку променя від прямолінійності розповсюдження відповідає куту φ (рис. 4.3).

$$\varphi = 180^\circ - 2i \quad (2.8)$$

При повороті дзеркала на кут α напрям відбитого променя змінюється на кут:

$$\varphi' = 180^\circ - 2i \pm 2\alpha \quad (2.9)$$

Тоді

$$\Delta\varphi = \varphi' - \varphi = \pm 2\alpha \quad (2.10)$$

Таким чином, при повороті дзеркала на кут α відбитий промінь змінить свій напрям на кут 2α . Знак “+” відповідає повороту дзеркала проти годинникової стрілки, знак “-” – по годинниковій стрілці. Це явище плоского дзеркала

застосовується в геодезичних приладах, наприклад в конструкціях компенсаторів нахилу.

Якщо два плоскі дзеркала розташовані паралельно одне одному (рис. 4.4), то промінь зазнає по чергово подвійного відбиття і залишається паралельним своєму первісному напрямку, зміщуючись на відрізок h , що називається поперечним зміщенням.



Рис. 4.4. Зміщення променя двома паралельними дзеркалами

Із трикутника АВК $h = AB \cdot \sin 2i$,

Із трикутника АВС $AB = \frac{d}{\cos i}$; $h = \frac{d}{\cos i \sin 2i}$, звідки

$$h = 2d \sin i \quad (2.11)$$

При повороті системи дзеркал навкруги точки А напрям вихідного променя не змінюється, а зміщення зміниться пропорційно $\sin \nu$; так як змінюється тільки при падінні i .

Якщо площини дзеркал не паралельні і розташовані під деяким кутом α (рис. 4.5), в результаті подвійного відбиття промінь змінює свій напрям на кут:

$$\varphi = 2\alpha \quad (2.12)$$

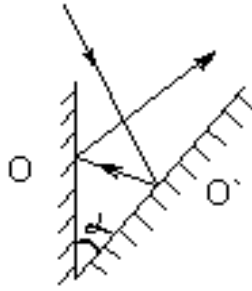


Рис. 2.8. Побудова прямих кутів еккером
 При куті $\alpha=45^\circ$, відбитий промінь відхилюється на 90° . Така система плоских дзеркал використовується в геодезичному приладі для розпланування прямих кутів на місцевості – еккері.

5. Плоско-паралельна пластинка

Плоско-паралельною пластинкою називається однорідна прозора деталь, у якої дві заломлюючі поверхні плоскі і паралельні. Плоско-паралельна пластинка по своїй дії на промінь має деяку схожість з системою двох плоских паралельних дзеркал: вона також зміщує промінь (рис. 2.9), заломлюючи його паралельним первісному. Покажемо це.



Рис. 5.1. Плоско паралельна пластинка
 Позначимо показник заломлення середовища, в якому розташована плоско-паралельна

пластинка, через n_1 , а показник заломлення самої пластинки – через n . Для променя, що падає на пластинку під кутом i_1 , у відповідності з (2.4), можна записати

$$n_1 \sin i_1 = n \sin i_1'$$

Для того ж променя, на виході із плоско-паралельної пластинки, будемо мати

$$n \sin i_2 = n_1 \sin i_2'$$

Так як площини, що обмежують плоску пластинку є паралельними, то $i_1' = i_2$, а тому

$$n_1 \sin i_1 = n_1 \sin i_2', \quad i_2' = i_1 \quad (2.13)$$

Останній вираз означає, що промінь світла, пройшовши плоско-паралельну пластинку, розташовану в однорідному середовищі, вийде паралельно первісному напрямку, але при цьому зміститься на величину h .

Поперечне зміщення для паралельних кутів виражається формулою

$$h = d i_1 \left(1 - \frac{1}{n}\right) \quad (2.14)$$

де d – товщина плоско-паралельної пластинки.

При $i_1 = 0$, $h = 0$, тобто при куті падіння, що дорівнює нулю, плоско-паралельна пластинка поперечного зміщення не дає. З другого боку, зміщення променя, що падає на плоско-паралельну пластинку з постійною товщиною d прямо пропорційно куту i_1 пластинки. Цю якість

пластинки використовують в оптичних мікрометрах для точних вимірювань малих лінійних інтервалів.

Зміщення променя з зміною кута його падіння на пластинку для широкого гомоцентричного пучка приводить до того, що після проходження через плоско-паралельну пластинку промені не перехрещуються в одній точці. Буде мати місце зниження чіткості побудови зображення. Порушення гомоцентричності буде незначним лише при вузькому пучку променів або при малій товщині пластинки. У всіх інших випадках при розрахунках аберацій оптичних систем необхідно врахувати дію плоско-паралельних пластинок.

Плоско-паралельну пластинку як рухому деталь застосовують (при $i_1=0$) в оптичному мікрометрі теодоліта в якості шкали для оцінки кутових інтервалів по лімбу; як нерухому деталь в якості сітки ниток – для спостережень, світлофільтрів – для зміни щільності, захисних стекол – для охорони внутрішніх порожнин від пилу і вологи та інше.

6. Заломлення променя сферичною поверхнею. Сферичне дзеркало.

Нехай сферична поверхня радіусу r з центром в точці C розділяє два середовища з показниками заломлення n і n' (рис. 6.1). Оптична вісь перехрещується з поверхнею в точці O , що називається вершиною поверхні. Промінь, що виходить із точки S заломлюється на поверхні в точці M і перехрещується з оптичною віссю в точці S' . позначимо положення точок S і S' ; згідно правила знаків, відрізками – u і u' , а кути між променями і оптичною віссю – i і i' .

Для параксіальних променів дугу OM можна замінити прямолінійним відрізком $KM=h$, а закон заломлення записати виразом

$$-in = -i'n' \quad (2.15)$$

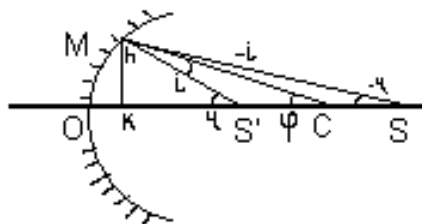


Рис.6.1. Хід променів у сферичному дзеркалі
 $CM=r$

Із ΔMS і $\Delta MS'$, враховуючи правило знаків, справедливо записати, що

$$-i = \varphi + (-u) \quad (2.16)$$

$$-i' = \varphi - u' \quad (2.17)$$

Підставляючи (2.16) і (2.17) в (2.15), отримаємо

$$n(\varphi - u) = n'(\varphi - u') \quad (2.18)$$

Враховуючи малість кутів, можна записати

$$u \approx \operatorname{tg} u \approx \frac{h}{a}, \quad u' \approx \operatorname{tg} u' \approx \frac{h}{a'}, \quad \varphi \approx \sin \varphi \approx \frac{h}{r} \quad (2.19)$$

З урахуванням (2.19) вираз (2.18) має вигляд

$$n\left(\frac{h}{r} - \frac{h}{a}\right) = n'\left(\frac{h}{r} - \frac{h}{a'}\right)$$

або

$$n\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{a}\right) = n'\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{a'}\right) \quad (2.20)$$

Формула (2.20) називається нульовим інваріантом Аббе. Із неї можна отримати фокусну відстань однієї сферичної поверхні. Так, для променів, що йдуть із простору предметів паралельно оптичній вісі, тобто $a = \infty$ і $a' = f'$, із (2.20), отримаємо

$$\frac{n}{r} = n'\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{f'}\right)$$

Звідки задня фокусна відстань

$$f' = \frac{n'r}{n'-n}, \quad (2.21)$$

якщо ж $a' = \infty$, то $a = f$ і тоді із формули (2.20) передня фокусна відстань заломлюючої поверхні

$$f = -\frac{nr}{n'-n} \quad (2.22)$$

Відношення фокусних відстаней дає

$$\frac{f}{f'} = -\frac{n'}{n}, \quad (2.23)$$

тобто відношення фокусних відстаней заломлюючої поверхні відповідно пропорційні показником заломлення середовищ, що розділяються нею.

Інваріант Аббе перетворений до вигляду

$$\frac{n}{a} - \frac{n'}{a'} = \frac{n - n'}{r} \quad (2.24)$$

називається основним рівнянням заломлюючої поверхні.

Якщо в рівнянні (2.24) замінити n' на $-n$, тобто застосувати поверхню для відбиття, то отримаємо формулу сферичного дзеркала, виражену через радіус.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{2}{r} \quad (2.25)$$

Фокусну відстань сферичного дзеркала можна знайти:

$$f = \frac{r}{2} \quad (2.26)$$

таким чином, формулу сферичного дзеркала (2.25), з урахуванням (2.26), можна записати у вигляді

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \quad (2.27)$$

Для плоского дзеркала, припускаючи $r = \infty$, із (2.25) отримаємо:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = 0; \quad a' = -a \quad (2.28)$$

7. Призми

Призмою називається оптична деталь, що обмежена заломлюючими і відбиваючими плоскими поверхнями, розташованими під кутом одна до одної. В геодезичних приладах

застосовуються призми двох видів: відбивні і заломлюючі.

Відбивні призми призначаються для зміни напрямку світлового пучка шляхом відбиття його від граней призми. При цьому використовується або явище повного внутрішнього відбиття або просте відбиття. Для підсилення ефекту відбиття відбивні грані інколи сріблять. Відбивні призми застосовуються в геодезичних приладах з ціллю:

- зміни напрямку оптичної вісі приладу (призма в ломаній трубі астрономічного універсалу);

- зміни напрямку лінії візування і лінії спостереження (окулярні призми відповідно зорової труби і оптичного мікрометра);

- обернене зображення;

- розділення зображення.

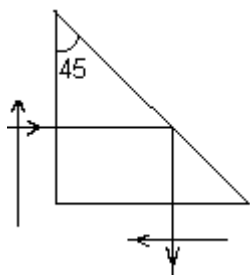


Рис. 7.1. Призма АР-90°

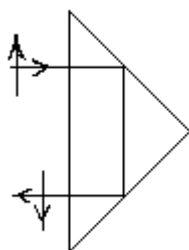


Рис. 7.2. Призма БР-180°

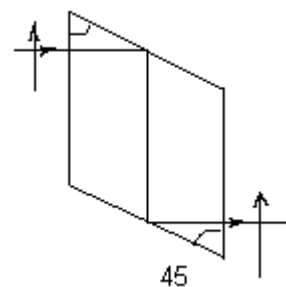


Рис. 7.3. Призма БС-0°

Відбивні призми, по суті, виконують ту ж роль, що і плоскі дзеркала, але мають перед ними ряд переваг: їх легше закріпити, вони зберігають

незмінними взаємне положення відбивних поверхонь, забезпечують менші втрати світла.

Відбивні призми позначаються двома буквами і числом градусів в куті, на який відхиляються промені після проходження через призму. Перша буква вказує кількість відбивних граней: А - одну, Б – дві, В – три. Друга буква характеризує геометрію призми: Р – рівнобедрена, С – ромбічна, П – пентапризма.

Якщо одну із відбивних граней призми замінюють двома, розташованими під кутом 90° , роблячи над нею надбудову у вигляді даху (для зміни не зовсім оберненого зображення на цілком обернене або навпаки), то такі призми називаються призмами з дахом і позначення добавляється маленька буква “д”, наприклад, “А_д”.

Відбивні призми, як плоско-паралельні пластинки, перекручують похилі пучки променів, що сходяться. Тому призми намагаються розташовувати в паралельних або близьких до паралельних променях. Видів відбивних призм багато. Розглянемо такі, що найбільше застосовуються в геодезичних приладах.

Прямокутна призма $AP=90^\circ$ (рис. 7.1) з однією відбивною гранню. В головному її є

рівнобедрений прямокутний трикутник. Призма змінює напрям променів на 90° і дає дзеркальне зображення.

Кожна відбивна призма характеризується коефіцієнтом призми. Коефіцієнтом призми називається відношення ходу променів в призмі $d=AB+BC$ до діаметра отвору вхідної грані $D=LMA$:

$$K = \frac{d}{D} \quad (2.29)$$

для призми $AP=90^\circ$, $K=1$

Прямокутна призма $BP=180^\circ$ (рис. 7.2) з двома відбивними гранями. Призма змінює напрям променів на 180° і зберігає вид зображення. Призма володіє важливою особливістю: при обертанні призми навкруги ребра, що знаходяться горизонтально, зображення не зміщується. Ця перевага дала можливість широкого застосування призми $BP=180^\circ$ при роботі з автоколіматорами і автоколімаційними теодолітами.

При нахилі ребра призми в вертикальній площині на кут α і розвороті призми навкруги ребра на кут β , вихідний світловий промінь змінить напрям азимутальній площині на величину $\Delta\gamma$, що визначається за формулою [17].

$$\Delta\gamma = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{\sin 2\alpha \sin \beta}{2 \sin^2 \alpha \sin^2 \beta - 1} \right) \quad (2.30)$$

Значення кутів α і β визначається відповідно горизонтальністю положення ребра і вертикальністю входної грані призми.

Коефіцієнт призми $BP=180^\circ$, $K=2$.

Призма-ромб $BC=0^\circ$ (рис. 7.3) призначається для зміщення оптичної вісі без зміни орієнтації зображення. Вона має дві паралельні заломлюючі і дві паралельні відбивні грані. Призма $BC=0^\circ$ має застосування, наприклад в точних теодолітах для почергового спостереження горизонтального і вертикального лімбів.



Рис.7.4. Призма Дове AP-0°

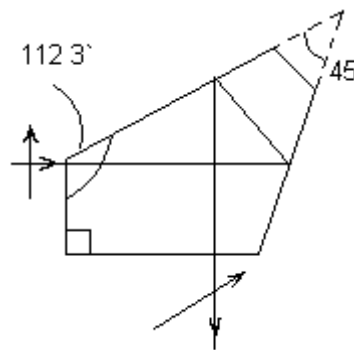


Рис7.5. Пентапризма БП-90°

Призму Дове $AP=0^\circ$ (рис. 7.4) легко отримати із прямокутної призми $AP=90^\circ$; якщо зрізати верхню неробочу її частину. Призма Дове обертає зображення зверху вниз, зберігаючи напрям ходу променів. При повороті призми в площині відбивної грані на кут α , зображення обертається на кут 2α .

Пентапризма БП=90° (рис. 7.5) призначається для зміни напрямку ходу променів на 90°. Вона має дві заломлюючі грані, розташовані взаємно під кутом 90°, і дві відбивні грані розташовані під кутом 45°. Між відбивною і суміжною заломлюючою гранями – кут 112,5°, коефіцієнт призми БП=90° $K=3,4142$

Часто замість БП-90° виготовляють оптичну деталь з таким же функціональним призначенням але значно меншої ваги і габаритів – пентаблок. Пентаблок (рис. 7.5) має два плоскі дзеркала, наклеєні торцями вертикально на загальну основу під кутом 45° між відбивними поверхнями.

Атестація кута відхилення променів пентаблоком (чи пентопризмою) виконується коліматорним чи автоколіматорним методами з середньою квадратичною похибкою 0,4".[10]

Пентаблок широко використовується в спеціальних геодезичних приладах.

При похилах пентаблоку чи пентапризми навкруги вихідного променя на кут α і вхідного променя на кут β вихідний світлий промінь буде змінювати свій напрям. Відхилення вихідного променя від положення коли пентаблок (чи пентапризма) знаходиться в горизонті, в

азимутальній площині визначається за формулою

$$\Delta\gamma_{n\delta} = \text{artg}\left(\frac{-\sin^2 \alpha}{\cos \alpha \cos \beta + \sin 2 \cos \alpha \sin \beta}\right) \quad (2.31)$$

а в вертикальній площині за формулою

$$\Delta\gamma_{n\delta, \varepsilon} = \text{artg}\left(\frac{-\frac{1}{2} \sin 2\beta \cos \alpha - \sin \alpha \cos \beta}{\frac{1}{2} \sin 2\beta \sin \alpha - \cos \alpha \cos \beta}\right) \quad (2.32)$$

при нахилах $\alpha=\beta=2'$, похибка в азимутальний напрям відхилення $\Delta\gamma_{\text{пвг}}=0,14''$.

Призма – куб (рис. 7.6) призначається для відбиття і одночасно пропускання світлових променів у взаємно перпендикулярних напрямках. Вона складається із двох прямокутних призм склеєних із діагональними гранями. Діагональна грань однієї із призм покривається по всій площі частково відбитим шаром. Звично таким покриттям служить зовсім тонкий шар алюмінію або срібла. Для виключення повного внутрішнього відбиття променів діагональні грані склеюються піхтовим бальзамом, який володіє великою прозорістю і коефіцієнтом заломлення $n=1,53$, близьким до коефіцієнтів заломлення скла. В залежності від коефіцієнтів відбиття і пропускання діагонального шару змінюється яскравість зображення. Для виключення не збігання осей z'_1 і z'_2 необхідно щоб один із штрихів, що поступає

на призму по відношенню до другого був дзеркальним.

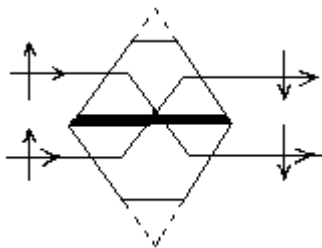


Рис7.6. Призма-куб К-О
Склеєна грань посріблена

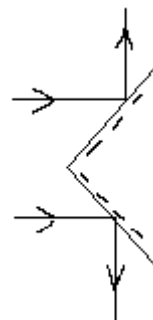


Рис.7.7. Світлороздільна призма

Призма – куб використовується для одночасного розповсюдження основного пучка променів по двох напрямках – безпосередньо по лінії візування і наприклад, через вимірювальні шкали, розташовані в стороні від лінії відбивання. Після сполучення променів в полі зору спостерігача раніше розділені пучки променів дозволяють бачити одночасно об'єкт спостереження і необхідну при ньому шкалу. Призма – куб має практичне застосування в автоколімаційних зорових трубах.

Якщо дзеркальне покриття граней прямокутної рівнобедреної призми (рис. 7.7) буде зовнішнім, то падаючий паралельний пучок променів відіб'ється від обох дзеркальних граней, розділиться на дві частини і буде розповсюджуватись в протилежних напрямках. Така призма називається світло роздільною.

Вона має застосування, наприклад в фотоелектричних автоколіматорах.

Заломлюючі призми змінюють напрям променів світла шляхом заломлення їх при проходженні через призму. Грані призми, через які проходять промені світла при заломленні, називаються заломлюючими а створений заломлюючими гранями двогранний кут – заломлюючим кутом призми. Перетин А призми площиною перпендикулярною заломлюючому ребру називають головним перетином призми.

В геодезичних приладах використовуються заломлюючі призми з кутом між заломлюючими гранями $\leq 5^\circ$. Такі призми називаються оптичними клинами.

Знайдемо для кута ε (рис. 7.8), на який відхиляється від свого первісного напрямку промінь, що пройшов через призму, виразивши через постійні величини: показник заломлення призми n її заломлюючий кут θ і показник заломлення n_0 середовища, в якому розташована призма. Згідно закону відбиття світла, для малих кутів падіння, із $\Delta N_1 M N_2$ можна записати

$$\varepsilon = i_1 - i_1' + i_2' - i_2 \quad (2.33)$$

У відповідності з законом заломлення маємо

$$n_0 \sin i_1 = n \sin i_1'; \quad n_0 \sin i_2' = n \sin i_2 \quad (2.34)$$

Для призм, розташованих у повітрі показник заломлення $=1$. Для малих кутів із виразу у (2.33) отримаємо:

$$i_1 = ni_1'; \quad i_2 = ni_2' \quad (2.35)$$

З урахуванням значень кутів із (2.35) вираз (2.33) запишемо у вигляді:

$$\varepsilon = (n-1)(i_1' + i_2') \quad (2.36)$$

Враховуючи із ΔN_1KN_2 $i_1' + i_2' = \theta$ вираз(2.36) остаточно запишемо у вигляді:

$$\varepsilon = \theta(n-1) \quad (2.37)$$

Із формули (2.37) видно, що для оптичного клина при малих кутах падіння відхилення ε не залежить від кута падіння променя i_1 . Це дає можливість використовувати оптичні клини для відхилення променя на постійний кут, наприклад, в далекомірах.

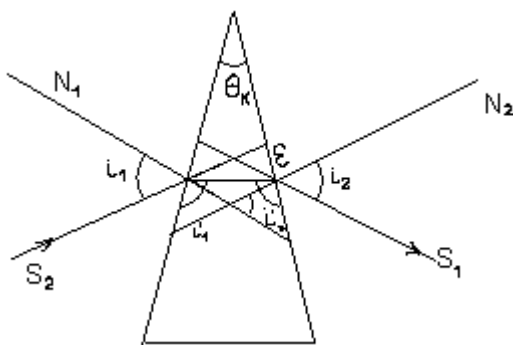


Рис.7.8. Оптичний клин

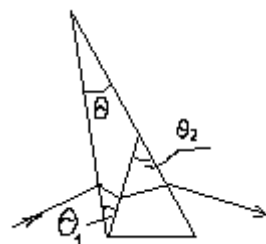


Рис.7.9. Ахроматичний клин

Так як кут відхилення променів залежить від показника заломлення призми, то білий промінь, прийшовши через призму, буде зазнавати дисперсію – розкладатися на складові кольору.

Для збереження різкості зображення предметів, що розглядаються через призми або клини, застосовують ахроматичні призми і клини. Ахроматичний клин (рис. 7.9) складається, як правило, із двох клинів, виготовлених із різних сортів скла з відповідно підібраними показниками заломлення. За звичаєм один клин виготовляють із крону, а другий – із флінту. Склеюють клини так, щоб заломлюючі кути θ' і θ'' були обернені в протилежні боки. Ахроматичний клин відхиляє промінь до основи на кут ε , не розкладаючи його на складові частини спектру.

8. Лінзи

Лінза – прозора деталь, обмежена двома сферичними заломлюючими поверхнями або однією плоскою і однією сферичною поверхнями. Лінза є найбільш поширена оптична деталь.

До позитивних (збиральних) лінз (рис. 2.4. лекція №2) відносяться: двовипукла, плоска випукла і вгнуто - випукла, або меніск позитивний (товщина в центрі більша чим по краях). До негативних (розсіюючі) лінз (рис. 2.5. лекція №2) відносяться: двовгнута, плоско-вгнута і випукло – вгнута або меніск негативний

(товщина в центрі менша чим по краях). Назви збиральних лінз закінчуються словом “випукла”, а розсіюючі – словом “вгнута” [15].

Інколи назва плоско-випуклої і плоско-вгнутої лінз можуть бути як випукло-плоска і вгнуто-плоска, в залежності від того якою є перша поверхня (плоскою чи сферичною). На рисунку r_1 і r_2 – радіуси кривизни поверхонь лінзи. Як видно із рисунка збиральні лінзи товстіші на середній, а розсіюючі – по краях. Пряма s_1s_2 , що з'єднує центри сферичних поверхонь лінз чи перпендикуляр опущений із центру сферичної поверхні на плоску поверхню називається оптичною віссю лінзи.

Лінза збирає падаючий паралельний пучок променів в одну точку. Цю точку, що лежить на оптичній вісі називають фокусом лінзи. В просторі зображень, яка сполучена з нескінченно віддаленою точкою, що розташована на оптичній вісі в просторі предметів. Передній фокус – це точка на оптичній вісі в просторі предметів, яка сполучена з нескінченно віддаленою точкою, що розташована на оптичній вісі в просторі зображень. Задній і передній фокуси інколи називають фокусами простору предметів простору зображень [1]. Відстань від переднього фокусу до заломлюючої поверхні називається

передньою фокусною відстанню лінзи (f).

Аналогічно визначається задня фокусна відстань (f'). Слід зауважити, що лінза має дві заломлюючі поверхні і стає неочевидним від якої із них визначати фокусну відстань.

Якщо лінза мала по відношенню до радіусів кривини заломлюючих поверхонь лінзи, то її називають тонкою. Головні площини в нескінченно тонкій лінзі практично збігаються і перетворюють в “середню” її площини. Цю “середню” площину називають головною площиною. В геодезичних приладах звично використовують не окремі лінзи, а їх системи, що складаються із двох і більше тонких лінз.

Визначаючи фокусні відстані від середини поверхні лінзи, ми по суті, відраховуємо їх від головної площини, яка у випадку сферичної поверхні утворилась від злиття двох головних площин і проходить через вершину поверхні. Значення $\frac{1}{f'} - \frac{1}{f} = D$ - називається оптичною силою лінзи. За одиницю вимірювання оптичної сили приймається діоптрія, що відповідає оптичній силі лінзи з фокусною відстанню 1 мм. Оптична сила збиральної лінзи позитивна, а розсіюючої – негативна. Для тонкої лінзи

$$D = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.38)$$

де: n - показник заломлення;

r_1 і r_2 - радіуси кривини сферичних поверхонь (випукла “+”, вгнута “-“, плоска “ ∞ ”).

Для товстої лінзи

$$D = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{(n-1)^2}{n \cdot r_1 \cdot n \cdot r_2} \quad (2.39)$$

де d – товщина лінзи.

9. Центрована і ідеальна оптичні системи. Кардинальні площини і точки. Збільшення оптичної системи

Реальні оптичні системи мають по меншій мірі дві заломлюючі поверхні (лінза), а частіше мають комбінацію лінз. В геодезичних приладах особливо важливу роль займають центровані оптичні системи з сферичними заломлюючими і відбивними поверхнями.

Систему із декількох заломлюючих поверхонь називають центрованою оптичною системою, якщо центри поверхонь оптичних деталей розташовані на одній прямій, що називається головною оптичною віссю системи. Оптична вісь системи – це пряма, що проходить через оптичну вісь системи, її називають меридіональною. Таким чином, оптична вісь центрованої системи – лінія перехрещення всіх меридіональних площин.

Гаус створив теорію ідеальної оптичної системи, тобто системи, в якій зберігається гомоцентричність пучків і зображення геометрично подібні предмету. В ідеальній системі кожній точці, лінії і площині простору предметів відповідає сполучена їй точка, лінія або площина в просторі зображень, тобто зображення відповідає предмету без перекручень. Ідеальна оптична система може бути здійснена, якщо в центрованій оптичній системі обмежитись параксіальною областю [18].

Теорія Гауса встановлює для ідеальної оптичної системи декілька так званих кардинальних (головних) площин і відповідних їм кардинальних точок. Якщо кардинальні площини і точки задані ми можемо користуватись оптичною системою, не розглядаючи реального ходу променів в ній. Для ознайомлення з ними оптичну систему зручно представити у вигляді двох сфер заломлення поверхонь (рис. 2.12, лекція №2) з вершинами у точках O і O' – точки перехрещення сферичних заломлюючих поверхонь з оптичною віссю.

Точка в якій перехрещуються заломлені промені паралельні оптичні осі називається фокусом: F - передній фокус, для променів, що йдуть із простору зображень; F' - задній фокус,

для променів, що йдуть із простору предметів. Площини, що проходять через передній і задній фокуси перпендикулярно до оптичної вісі називаються передньою і задньою фокальними площинами.

Заломлюючу дію поверхонь оптичної системи можна звести до однієї площини:

а) для променів, що йдуть із простору предметів, площині називається задньою головною площиною;

б) для променів, що йдуть із простору зображень, площина називається передньою головною площиною.

Точки перехрещення N і N' головних площин з оптичною віссю називається відповідно передньою і задньою головними точками.

Головні точки і головні площини відіграють в системі роль початку відліку:

– відстань $f=NF$ від передньої головної точки до переднього фокусу називається передньою фокальною відстанню;

– відстань $f'=N'F'$ від задньої головної точки до заднього фокусу називається задньою фокальною відстанню.

Відстань $S_F=OF$ від вершини передньої поверхні до переднього фокусу називається переднім фокальним відрізком. Відстань

$S'_F=O'F'$ від вершини задньої поверхні до заднього фокусу називається заднім фокальним відрізком.

Положення предмету і його зображення в центральній системі визначаються відрізками a і a' , які (з урахуванням знаків) також відраховуються відповідно від передньої і задньої головних точок.

Якщо в просторах предметів і зображень одне і те ж середовище (наприклад повітря) де $n=n'$, то згідно (2.23)

$$\frac{1}{f'} = -\frac{1}{f} \quad (2.40)$$

Формула (2.40) виражає оптичну (заломлюючу) силу системи. Чим більше оптична сила, тим ближче до оптичної системи розташовується зображення предмету, але тим менша величина цього зображення. За одиницю вимірювання оптичної сили системи приймається діоптрія (як і для лінзи), тобто оптична сила системи, що має фокусну відстань $f'=1$ м.

Для побудови зображення в центрованій системі використовуються три промені, хід яких такий (рис. 2.12, лекція №2):

1) промінь ВМ, що падає на систему паралельно оптичній вісі, після заломлення в системі проходить через задній фокус F’;

2) промінь ВF, що проходить через передній фокус, після заломлення в системі виходить паралельно оптичній вісі;

3) промінь ВN, що проходить через головну точку системи. Після заломлення виходить не змінюючи свого напрямку.

Всі падаючі промені проводять до передньої головної площини. Промені, що виходять із системи, перехрещуються з задньою головною площиною на тій же висоті.

Відношення лінійного розміру зображення l' до лінійного розміру предмету l називається лінійним збільшенням центрованої системи:

$$\beta = \frac{l'}{l} \quad (2.41)$$

Візьмемо від точки А промінь на точку М, що проходить під кутом до оптичної вісі. Йому в просторі зображень буде відповідати промінь М'А', що складає з оптичної віссю кут γ' .

Відношення:

$$\gamma = \frac{\text{tg}U'}{\text{tg}U} \quad (2.42)$$

називається кутовим збільшенням.

Між лінійним і кутовим збільшенням існує заломлення:

$$\beta = \frac{1}{\gamma}$$

(2.43)

Відношення (2.43) справедливо, якщо показники заломлення першої і останньої поверхонь системи є однаковим, наприклад, коли з обох боків системи є повітря.

10. Складання центрованих оптичних систем. Телескопічна система

Звичайно окремі частини оптичних приладів (об'єктиви, окуляри) складаються із декількох лінз, які створюють центровану систему з загальною оптичною віссю. Складна центрована система складається, таким чином, із декількох простих систем – лінз, що мають заломлюючі поверхні і визначаються своїми головними площинами і фокусами. Таку складну систему із декількох лінз замінюють еквівалентною, визначивши для неї положення головних площин і фокусів. Еквівалентна система має на відміну від простої не одну, а дві головні площини: передню і задню. Відшукування головних площин і фокусів еквівалентної системи по заданих відповідних елементах простих систем називають складанням систем. Відрізок Δ оптичної вісі між заднім фокусом першої системи і переднім фокусом другої системи

називають оптичним інтервалом Δ (рис. 2.12, лекція №2)

$$\Delta = d - f_1' + f_2 \quad (2.44)$$

Представимо складну оптичну систему з двох сферичних поверхонь. Перша система задається положенням головних площин H_1 і H_1' , переднього і заднього фокусів, а друга – відповідно положення H_2 і H_2' , F_2 F_2' . Відстань між головною площиною першої і передньою головною площиною другої системи $H_1'H_2 = d$.

Промінь P з простору променів, паралельний оптичній вісі, заломиться в точці M_1' , пройде через задній фокус першої системи і заломиться другими головними площинами H_2 і H_2' в точках N_2 і N_2' . Після перетину з оптичною віссю в точці F_2' , що називається заднім головним фокусом еквівалентної системи, промінь зустрічається з геометричним продовженням свого вихідного напрямку в точці M' .

Перпендикуляр до оптичної вісі в точці M' називається задньою головною площиною еквівалентної системи. Позначимо положення заднього головного фокуса другої системи величиною F_2' , а відносно задньої головної площини H_2' – величиною f_2' , що називається задньою фокальною відстанню еквівалентної системи.

Аналогічно промінь Р з простору зображень, паралельний оптичній вісі, заломиться в точці M_2 , пройде через передній фокус F_2 другої системи і заломиться головними площинами першої системи H'_1 і H_1 в точках N'_1 і N_1 . Після перетину з оптичною віссю в точці F, що називається переднім головним фокусом еквівалентної системи, промінь зустрічається з геометричним продовженням свого вихідного напрямку в точці М. Перпендикуляр до оптичної вісі в точці М називається передньою головною площиною еквівалентної системи. Позначимо положення переднього головного фокусу еквівалентної системи величиною χ_F , а відносно передньої головної площини Н – величиною f_e , що називається передньою фокальною відстанню еквівалентної системи.

Положення переднього і заднього фокусів еквівалентної оптичної системи, а також фокальні відстані визначаються за формулами (1.6).

$$x_F = \frac{f_1 f'_1}{\Delta} \quad (2.45)$$

$$x'_{F'} = -\frac{f_2 f'_2}{\Delta} \quad (2.46)$$

$$f_e = \frac{f_1 f_2}{\Delta} \quad (2.47)$$

$$f'_e = -\frac{f'_1 f'_2}{\Delta} \quad (2.48)$$

Із рис. 2.18 видно, що

$$x_H = x_F - f_e \quad (2.49)$$

$$x'_H = x'_F - f'_e \quad (2.50)$$

Підставимо в (2.49) і (2.50) відповідні значення із (2.45) ÷ (2.48), будемо мати

$$x_H = \frac{f_1(f'_1 - f_2)}{\Delta} \quad (2.51)$$

$$x'_H = \frac{f'_2(f'_1 - f_2)}{\Delta} \quad (2.52)$$

Формули (2.51) і (2.52) дозволяють визначити положення головних площин еквівалентної оптичної системи.

Відстань між головними площинами еквівалентної оптичної системи визначається за формулою:

$$HH' = \frac{1}{\Delta}(d - f'_1 + f_2) \quad (2.53)$$

Еквівалентна оптична система може бути повністю охарактеризована чотирма по різному сполученими величинами:

$$x_F, x'_F, f_e, f'_e, \quad (2.54)$$

або

$$x_F, x'_F, x_H, x'_H, \quad (2.55)$$

або

$$f_e, f'_e, x_H, x'_H. \quad (2.56)$$

Іншими словами, люба оптична система може бути представлена положеннями: оптичної вісі, передньої і задньої головних площин, а також переднього і заднього головних фокусів.

Для геодезичних приладів особливо важливі телескопічні системи. Телескопічною або фокальною системою називають систему, в якій оптичний інтервал $\Delta=0$, тобто задній фокус першої системи збігається з переднім фокусом другої. Фокальні відстані телескопічної системи згідно (2.47) і (2.48) дорівнюють

$$f_e = \frac{f_1 f_2}{\Delta} = \infty; \quad f_e' = -\frac{f_1' f_2'}{\Delta} = -\infty \quad (2.57)$$

Таким чином до телескопічних систем відносять зорові труби, що сфокусовані на нескінченність для нормального ока. Це означає, що паралельний пучок променів після заломлення в оптичній системі залишається паралельним. Відповідно до (2.51) і (2.52) головні площини оптичної системи будуть також знаходитись в нескінченності

$$x_n = \frac{f_1(f_1' - f_2)}{\Delta} = \infty; \quad x_n' = \frac{f_2'(f_1' - f_2)}{\Delta} = \infty \quad (2.58)$$

В телескопічних системах з паралельним пучком променів апертурною діафрагмою буде оправа об'єктива. Вона ж буде і вхідною зіницею ($D_{об.}$). Зображення цієї діафрагми в просторі зображень буде вихідною зіницею ($d_{ок}$) оптичної системи. Відношення

$$\frac{D_{об.}}{d_{ок}} = \Gamma^\times \quad (2.59)$$

називається кутовим збільшенням оптичної системи, а відношення

$$\frac{d_{ок.}}{D_{об}} = \beta \quad (2.60)$$

називається лінійним збільшенням оптичної системи.

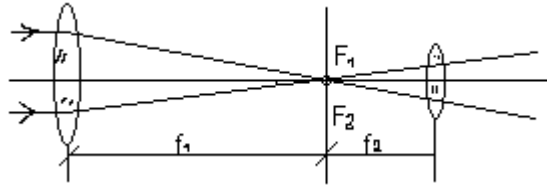


Рис.10.11 Телескопічна система

Література.

- 1.Боровий В.О. Автоколімаційні, поляризаційні і лазерні вимірювання в геодезії : Монографія. Чернігів, РВВ- ЧДІЕіУ- НЦ МДВУ, 1999, - 231с.
- 2.Кузнецов П.Н., Васютинский Н.Ю., Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1984, - 364с.
- 3.Островский А.Л., Маслюч Д.И., Гребенюк В.Г. Геодезическое прибороведение. Львов. Вища школа, 1983.- 205с.
- 4.Костецька Я.М. Геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади: Підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. – Львів: ІЗМН, 2000- 324 с.
- 5.Літнарівч Р.М. Польовий компаратор ЧДІЕіУ. Чернігів, ЧДІЕіУ, 2002, - 16 с.
- 6.Літнарівч Р.М., Мардієва Л.П., Ярош Ю.В. Будова і робота світловіддалеміра СТ5. Навчальний практикум по курсу “Електронні геодезичні прилади”, ЧДІЕіУ, Чернігів, 2000, - 38 с.

ЧЕРНІГІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ І УПРАВЛІННЯ

ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Для студентів спеціальностей
6.07 09 04 “Землепорядкування та кадастр”
7.07 09 08 “Геоінформаційні системи і технології”

Автори:

**Боровий Валентин Олександрович, доктор технічних наук, професор;
Літнарівч Руслан Миколайович, кандидат технічних наук, доцент**
Комп’ютерний набір у видавничому редакторі Word (Пакет Office XP) for Windows,
редагування та макетування: Комов К.С.

Кафедра геоінформатики і геодезії

м. Чернігів

вул. Стрілецька,1

[URL:www.geci.cn.ua](http://www.geci.cn.ua)

E-mail:rector@geci.cn.ua

Тел.: (0462) 179-308

(04622) 5-61-70