

**Оптико-механічний коледж
Київського національного університету імені Тараса Шевченка**

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ОМК**

_____ Т. Г. Колесник

«__» _____ 2020 р.

МАТЕРІАЛИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

ДО ТЕМИ: «ДАЛЕКОМІРИ»

З ДИСЦИПЛІНИ: «ОПТИЧНІ І ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИЛАДИ»

для спеціальностей: 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»,
153 «Мікро- та наносистемна техніка», 171 «Електроніка»

Підготував: Сокурєнко О.М.

Затверджено на засіданні ЦК
оптичних дисциплін

Протокол №

Від «__» _____ 2020 р.

Голова циклової комісії:

_____ О. М. Сокурєнко

ЗМІСТ

1 Призначення, класифікація далекомірів	3
2 Оптичні внутрішньобазні далекоміри	5
2.1 Монокулярні далекоміри	6
2.2 Стереоскопічні далекоміри	7
2.2.1 Стереоскопічний далекомір з поворотним дзеркалом	7
2.2.2 Далекомір з біаксільним коліматором	9
2.2.3 Зенітний далекомір ЗДН	10
3 Оптиколокаційні далекоміри	11
3.1 Фазові далекоміри	12
3.2 Імпульсні далекоміри	15
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	17

1 Призначення, класифікація далекомірів

Для вирішення різних технічних завдань доводиться нерідко вимірювати відстань до окремих об'єктів на місцевості. Так, наприклад, потрібно знати відстань для наведення фотоапарата на різкість, при виконанні геодезичних робіт, при будівництві інженерних споруд (мостів, переправ). У військовій справі визначають відстань до цілі при визначенні кутів прицілювання, випередження та інших даних для стрільби з різних видів зброї.

Зазначені завдання виконуються за допомогою *далекомірів*.

Вимірювання відстаней можна робити **контактним і неконтактним способами**.

При **контактному** способі вимірювання відстаней в якості інструменту використовується, наприклад, масштабна лінійка, рулетка, які входять в безпосереднє зіткнення («контакт») з предметами.

При **неконтактному** способі користуються далекомірами, що дозволяють визначити відстань до предмета без контакту з ним.

Вимірювання відстані за допомогою оптичних далекомірів виконується або шляхом визначення сторін трикутника по іншим його елементам, один з яких є постійним, а інший вимірюється неконтактним способом, або шляхом визначення часу поширення світлової хвилі від далекоміра (випромінювача) до предмета і назад.

Розглянемо вимірювальний трикутник AQB (рис. 9.1).

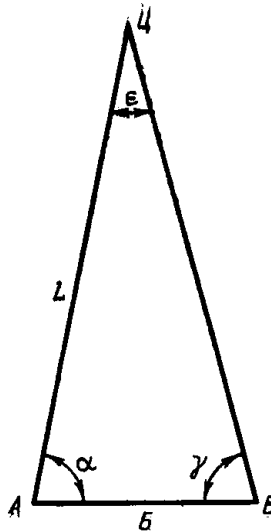


Рисунок 1 – Вимірювальний трикутник

Якщо відома сторона $AB=B$, протилежний кут ϵ і один із прилеглих кутів γ , то на основі теореми синусів

$$L / \sin \gamma = B / \sin \epsilon ; AQ = L$$

маємо

$$L = (B \sin \gamma) / \sin \epsilon. \quad (1)$$

Якщо трикутник AQB прямокутний, то $\sin \gamma = 1$, тоді

$$L = B/\sin \varepsilon.$$

При малих кутах ε можна прийняти $\sin \varepsilon \approx \varepsilon$, і, тоді,

$$L \approx B/\varepsilon. \quad (2)$$

Для визначення дистанції (дальності до об'єкта) L за формулою (2) необхідно знати базу B і виміряти паралактичний кут ε .

За базу може служити:

- відомий розмір об'єкта спостереження (його довжина або висота);
- відстань між вхідними вікнами далекоміра;
- відстань між пунктами спостереження об'єкта.

Оптичними далекомірами з базою в середині – далекоміри, що використовують в якості бази відстань між вхідними вікнами. Дальність визначається залежністю (1).

Далекоміри з базою на об'єкті (цілі) (оптичні зовнішньобазові далекоміри) – далекоміри, що використовують в якості бази розмір об'єкта спостереження. Визначення дистанції зводиться до визначення величини зображення об'єкта в фокальній площині об'єктива візирного пристрою при відомій величині об'єкта. Дальність до об'єкта визначається як

$$L = B_{\text{ц}} f'_{\text{об}} / l', \quad (3)$$

де $B_{\text{ц}}$ – розмір об'єкта (база); $f'_{\text{об}}$ – фокусна відстань об'єктива оптичного візирного пристрою; l' – розмір зображення об'єкта в фокальній площині об'єктива.

Далекомірами з базою на місцевості – далекоміри, що використовують в якості бази відстань між пунктами спостереження. Дистанція до об'єкта визначається формулою (1).

Оптиколокаційними (світлодалекомірами) – далекоміри, в яких вимірювання відстаней здійснюється шляхом визначення часу проходження оптичного випромінювання до об'єкта і назад. Дистанція до об'єкта визначається за формулою:

$$L = (c/2n) t, \quad (4)$$

де c – швидкість розповсюдження оптичного випромінювання (швидкість світла) в вакуумі ($c=3 \cdot 10^8$ м/с); n – показник заломлення середовища, в якому розповсюджується оптичне випромінювання; t – час проходження випромінювання подвійної відстані L .

Типи далекомірів:

- *фотодалекоміри;*
- *геодезичні;*
- *спеціальні.*

Фотодалекоміри є мініатюрними внутрішньобазними далекомірами з базою 40÷100 мм.

Геодезичні далекоміри побудовані за типом далекомірів з базою на об'єкті. Однак є внутрішньобазні, а також і світлолокаційні геодезичні далекоміри.

Спеціальні далекоміри можуть бути розділені на:

- *саперні,*
- *армійські,*
- *зенітні*
- *морські.*

Спеціальні далекоміри з базою всередині приладу будуються переважно бінокулярними, тобто є стереоскопічними, за винятком саперних далекомірів, які є монокулярними.

Крім далекомірів, як окремих спеціальних приладів, застосовуються різні далекомірні пристрої. Вони побудовані за принципом далекомірів з базою на об'єкті. Наприклад, далекомір перископів підводних човнів.

2 Оптичні внутрішньобазні далекоміри

Оптичний внутрішньобазний далекомір здійснює вимір дистанції шляхом визначення паралактичного кута об'єкта ϵ з *кутовою теоретичною похибкою* $\Delta\epsilon$. При цьому виміряна дальність матиме *лінійну теоретичну похибку* ΔL далекоміра.

$$\Delta L = (L^2 \Delta\epsilon) / B. \quad (5)$$

Точність вимірювання паралактичного кута $\Delta\epsilon$ обмежується роздільною здатністю ока. Стосовно до далекомірів під *роздільною здатністю ока* розуміють мінімальне зміну паралактичного кута ϵ , що викликає зміну дистанції, яка може бути виявлена оком.

Мінімальна зміна паралактичного кута, що виявляється далекоміром:

$$\Delta\epsilon = \psi / \Gamma_T.$$

де ψ – роздільна здатність ока, Γ_T – збільшення далекоміра

Роздільна здатність ока залежить від способу вимірювання. Якщо вимірювання полягають у приведенні частин зображення, розділених лінією розділу, на одну пряму лінію, то $\psi \approx 10''$. При стереоскопічному способі поєднання зображень в одну уявну площину величина ψ також дорівнює $10''$. Підставляючи значення $\Delta\epsilon$ в формулу (5) і враховуючи, що $\psi = 10''$, отримаємо,

$$\Delta L = \frac{L^2 10''}{\Gamma_T B 206265''}. \quad (6)$$

Оптичні внутрішньобазові далекоміри бувають:

- *монокулярні*
- *стереоскопічні.*

2.1 Монокулярні далекоміри

Принципова схема *монокулярного далекоміра* показана на рис. 2.

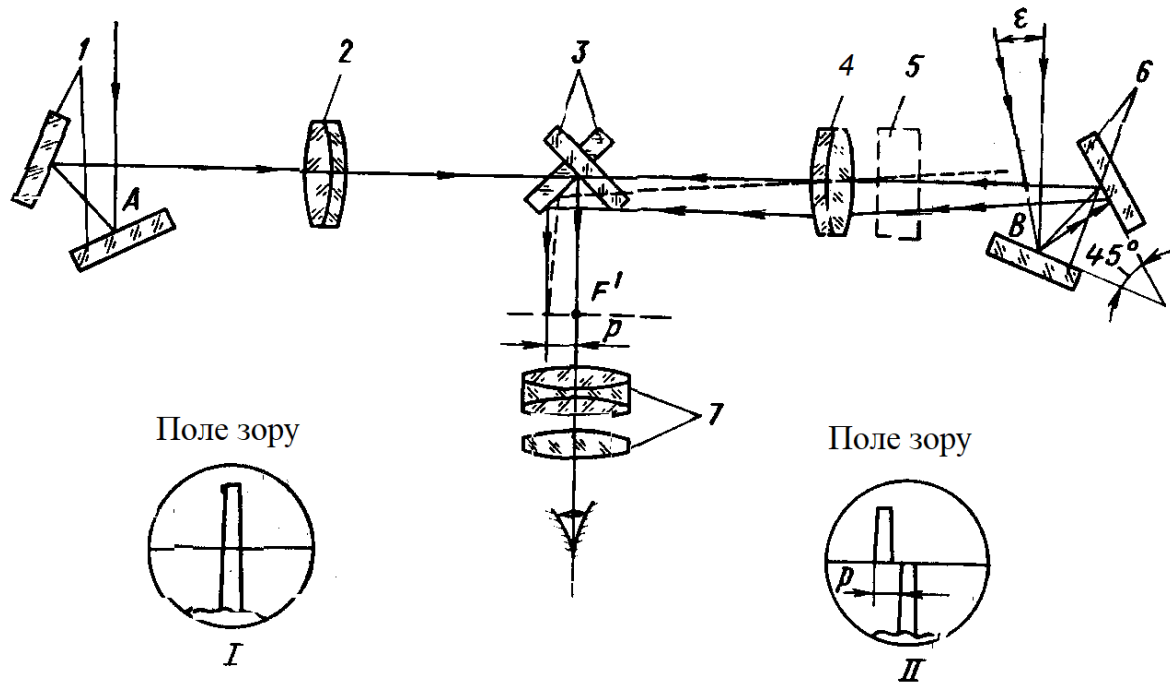


Рисунок 2 – Схема монокулярного далекоміра

На кінцях бази далекоміра B , в точках A і B , розташовані кінцеві відбивачі 1 і 6 , які направляють промені, що йдуть від об'єкта, в об'єктиви 2 і 4 . В якості кінцевих відбивачів використовуються пентапризми або кутові дзеркала, що складаються з двох плоских дзеркал, що утворюють двухгранний кут в 45° .

В середині бази далекоміра знаходиться центральна призма, яка об'єднує промені обох гілок (каналів) далекоміра в одне поле зору і здійснює обертання зображення. На рис. 2 для простоти показані два дзеркала 3 , розташовані одне над іншим.

Об'єктиви 2 і 4 мають рівні за величиною і знаку фокусні відстані і розташовані так, що їх головні фокуси збігаються один з одним, а також з переднім фокусом окуляра 7 .

При спостереженні за об'єктом, розташованим в нескінченності, пучки променів, що надходять в лівий і правий об'єктиви, паралельні один одному, тобто паралактичний кут ε дорівнює нулю, і частини зображення об'єкта у верхній половині поля зору збігаються (див. Рис. 2).

Якщо об'єкт знаходиться на деякій кінцевій відстані L , то частини зображення у верхній і нижній половинах поля зору змістяться відносно один одного на

величину лінійного паралакса p (див. Рис. 2). При малих кутах ε величина лінійного паралакса дорівнює $p = f'_{об} \cdot \varepsilon$ звідки з урахуванням (2) отримаємо

$$p = (Bf'_{об})/L. \quad (7)$$

Визначення дальності зводиться до вимірювання лінійного паралакса, що можна зробити шляхом поєднання верхньої та нижньої частин зображення об'єкта за допомогою оптичного компенсатора 5.

2.2 Стереоскопічні далекоміри

Вимірювання дальності в стереоскопічних далекомірах базується на явищі *стереоефекту*, який виникає в результаті спостереження предметів двома очима.

2.2.1 Стереоскопічний далекомір з поворотним дзеркалом

Принципова схема *стереоскопічного далекоміра* показана на рис. 3.

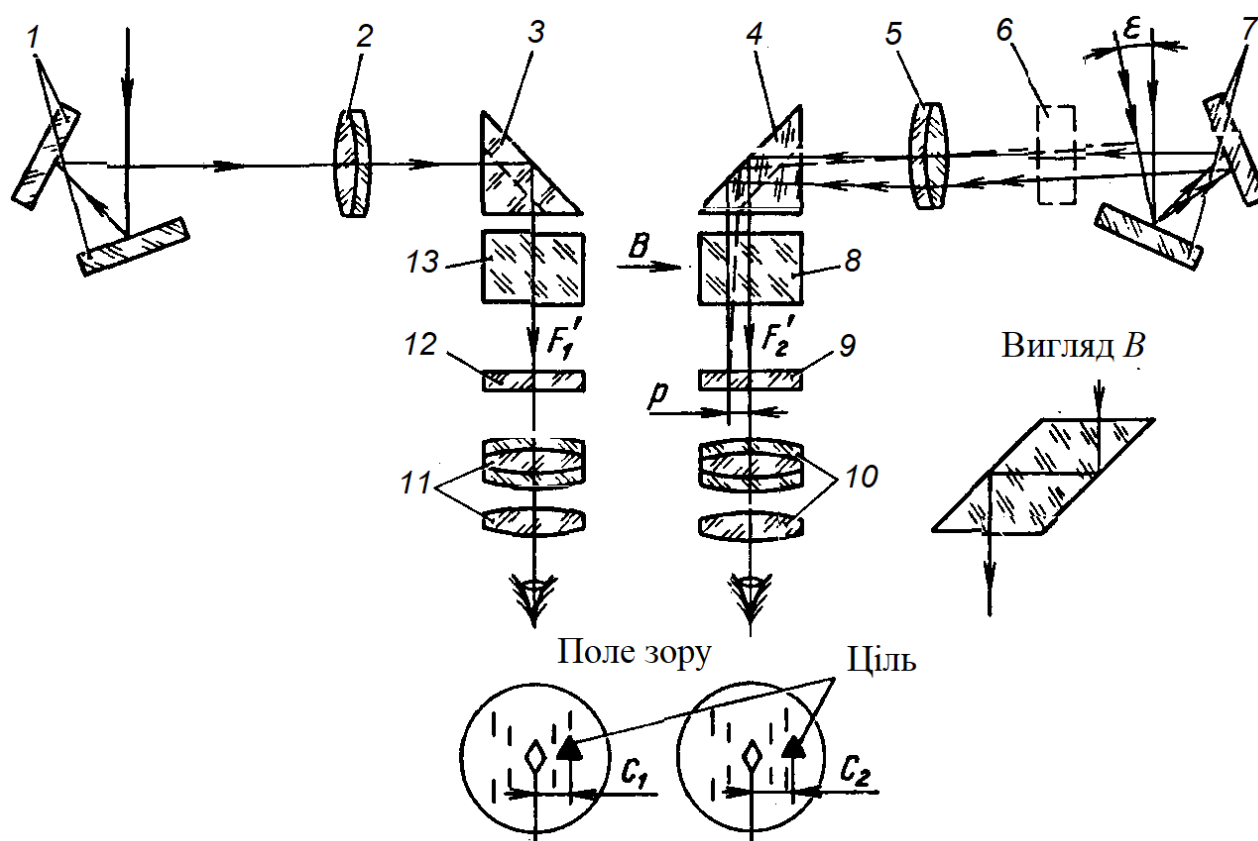


Рисунок 3 – Схема стереоскопічного далекоміра з поворотним дзеркалом

Стереодалекомір представляє собою біноклярний прилад, що складається з двох телескопічних систем, вхідні вікна яких знаходяться на відстані B . Кінцеві відбивачі 1 і 7 направляють промені від мети в об'єктиви 2 і 5. Пройшовши

центральні призми 3 і 4 і ромбічні призми 13 і 8, пучки променів дають два зображення в фокальних площинах окулярів 11 і 10. У цих площинах знаходяться пластинки з марками 12 і 9. Марки зазвичай мають вигляд ромбів і розташовуються на оптичних осях телескопічних систем, тому пучки променів від марок виходять з окулярів паралельно один одному і спостерігачеві здається, що він бачить одну марку, розташовану в нескінченності. Якщо об'єкт знаходиться в нескінченності, то спостерігач бачить її суміщеною за глибиною з вимірювальною маркою, тобто $p = 0$.

При спостереженні об'єкта, розташованого на кінцевій відстані, лінійний паралакс зображення об'єкта $p = C_1 - C_2$ не дорівнює нулю, а об'єкт і марка здаються розташованими на різній глибині. Вимірювання дальності проводиться поєднанням по глибині зображення об'єкта і центральної марки за допомогою оптичного компенсатора б.

Деякі далекоміри з базою до 1 м мають в полі зору «паркан» нерухомих марок (рис. 4), положення яких розраховане так, що їх видно під різними паралактичними кутами, що відповідають певним значенням дальності. При вимірюванні дальності до об'єкта визначають ту марку, яка здається спостерігачеві розташованій на одній глибині з об'єктом. Число над цією маркою показує значення дальності.

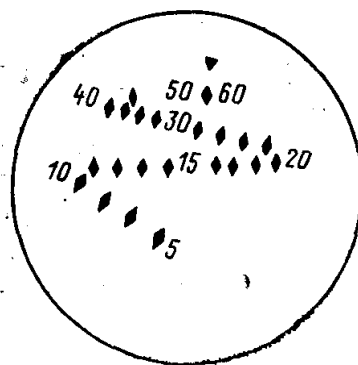


Рисунок 4 – Стереоскопічні марки

Точність вимірювання дальності залежить від точності вимірювання паралактичного кута. Промені, що йдуть від об'єкта в ліву і праву гілки (канали) далекоміра і утворюють паралактичний кут, мають в далекомірі ряд складних віддзеркалень і заломлень, внаслідок чого величина паралактичного кута може змінюватися.

Крім того, в процесі експлуатації через удари, вібрації, нерівномірного сонячного нагріву можливі невеликі перекоси і переміщення оптичних деталей, що призводить до зміни паралактичного кута і до похибок вимірювання дальності.

У далекомірах розрізняють **два види похибок**:

- *розлад по висоті*
- *розлад по дальності.*

Для зменшення впливу зовнішніх впливів на точність вимірювання дальності розроблені схеми стереоскопічних далекомірів, що мало розлагоджуються.

Щоб зробити далекомір, що мало розлагоджуються, необхідно винести пристрій, що дає зображення марок за межі основної оптичної системи далекоміра

таким чином, щоб об'єднання променів, що йдуть від об'єкта і марок, відбувалося поблизу вхідних вікон далекоміра. При такій схемі оптичні деталі однаково впливають як на промені від об'єкта, так і на промені від марки і розладу по дальності не відбувається.

2.2.2 Далекомір з біаксільним коліматором

Принципова схема *далекоміра з біаксільним коліматором* показана на рис. 5.

Біаксільний коліматор складається з двох об'єктивів 2 і 8 з рівними фокусними відстанями ($f'_{\kappa 1} = f'_{\kappa 2}$). У центрі кожного з об'єктивів нанесені вимірювальні марки m_1 і m_2 , причому марка m_1 знаходиться в фокальній площині об'єктива 8, а марка m_2 – в фокальній площині об'єктива 2.

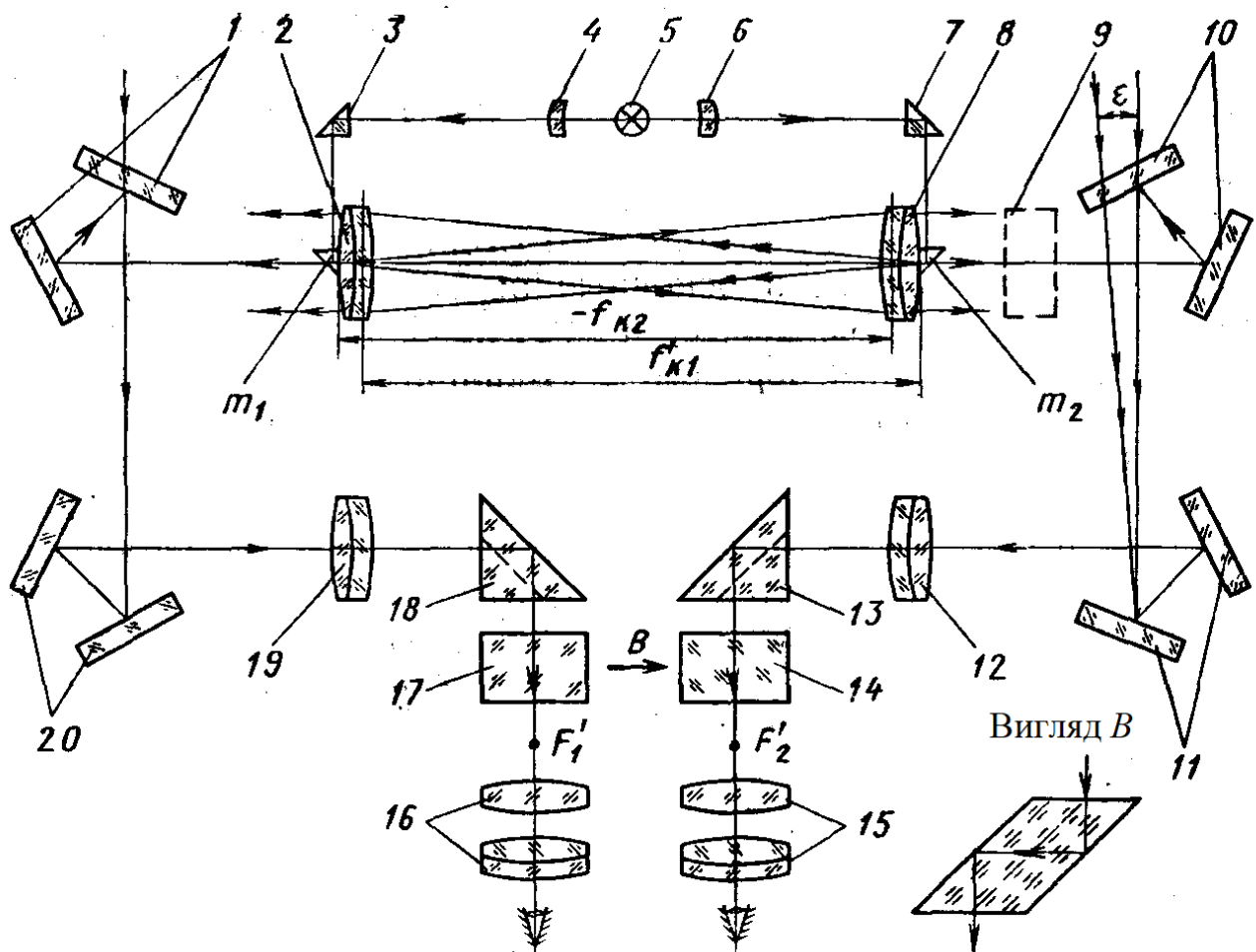


Рисунок 5 – Схема стереоскопічного далекоміра, що мало розлагоджуються

Поле марок підсвічується джерелом світла 5 через конденсори 4 і 6 і прямокутні призми 3 і 7. Оскільки вимірювальні марки розташовані в фокальних площинах об'єктивів біаксільного коліматора, то промені від марок будуть виходити з об'єктивів паралельними пучками. Відбившись від кінцевих відбивачів 1 і 10, 11 і 20, промені від марок надходять в основні об'єктиви 12 і 19 і далі, пройшовши прямокутні призми 13 і 18 і ромбічні призми 14 і 17, дадуть зображення марок в

фокальних площинах об'єктивів 12 і 11. Промені від об'єкта надходять в кінцеві відбивачі 1 і 10, 11 і 20, які направляють їх в основні об'єктиви 12 і 19. Промені від об'єкта фокусуються об'єктивами і дають зображення об'єкта в фокальних площинах. Таким чином, в фокальних площинах об'єктивів 12 і 19 утворюються зображення марок і об'єкта.

Якщо об'єкт знаходиться в нескінченності, то пучки променів в лівий і правий кінцеві відбивачі приходять паралельно один одному і лінійний паралакс $p = C_1 - C_2 = 0$ (див. Рис. 3). В цьому випадку марка і об'єкт здаються спостерігачеві, що розглядає картину через окуляри 15 і 16, розташованими на одній глибині.

Якщо об'єкт знаходиться на відстані L , то виникає паралактичний кут об'єкта ε , що призводить до появи лінійного паралакса $p = C_1 - C_2 \neq 0$ і спостерігач буде бачити об'єкт і марку розташованими на різній глибині. Вимірювання дальності здійснюється шляхом поєднання по глибині зображення марки і об'єкта за допомогою оптичного компенсатора 9.

2.2.3 Зенітний далекомір ЗДН

Прикладом далекоміра, що мало розлагоджуються, є схема **зенітного далекоміра ЗДН** з нерухомими вимірювальними марками та малою базою. Далекомір призначений для швидкого визначення дистанції при стрільбі по повітряних цілях.

Оптична схема ЗДН приведена на рис. 6 і складається з біаксільного коліматора, на об'єктивах якого нанесені нерухомі вимірювальні марки (див. Рис. 4), біноклярної зорової труби, що дає в фокальній площині окуляра зображення марок і цілі, і освітлювальної системи.

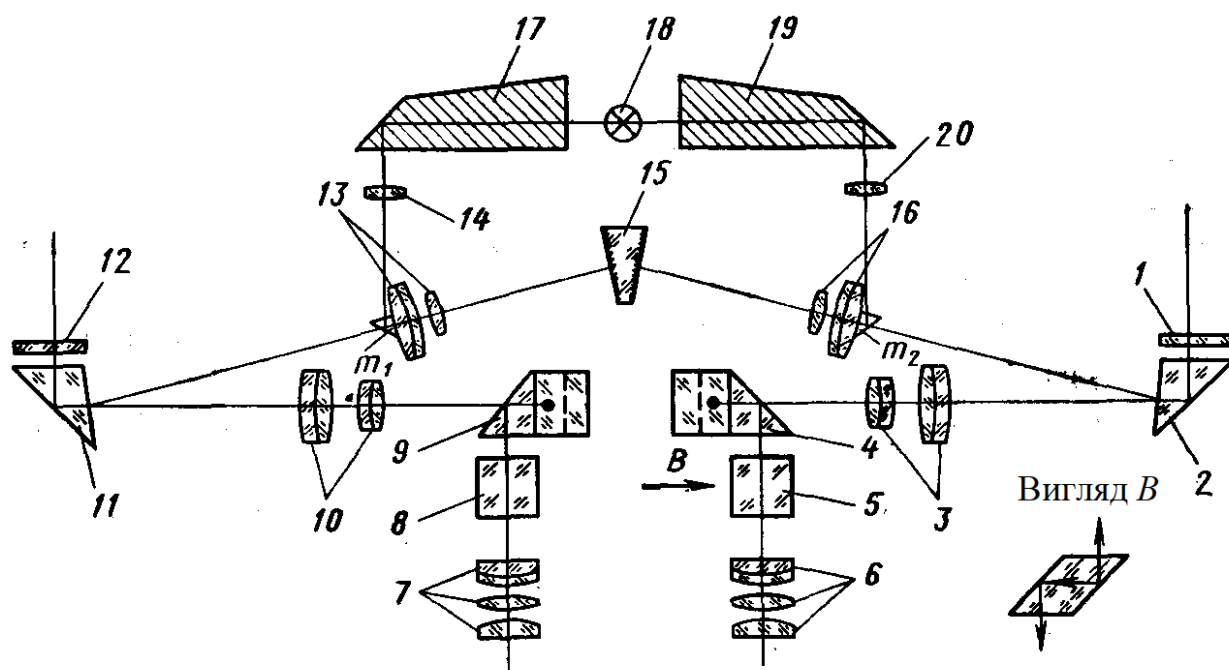


Рисунок 6 – Оптична схема ЗДН

Промені від цілі через захисні клини 1 і 12 потрапляють на кінцеві призми 2 і 11. Ці призми відхиляють промені в телескоп під кутом 90° . Одночасно від граней кінцевих призм, розташованих поперек поздовжньої осі далекоміра, відбиваються промені, що йдуть від вимірювальних марок m_1 і m_2 і потрапляють на зазначені грані під деяким кутом із біаксіального коліматора.

Після цього промені, що йдуть, від цілі і від вимірювальних марок, спільно проходять через об'єктиви телескопа 3 і 10, центральні призми 4 і 9, ромбічні призми 5 і 8 і виходять з окулярів 6 і 7. Спостерігач в поле зору бачить одночасно зображення цілі і вимірювальних марок. Помічаючи марку шкали, з якою ціль лежить в одній площині, спостерігач визначає дистанцію.

У біаксіальному коліматорі промені від вимірювальних марок, які освітлюються денним світлом або за допомогою освітлювача 18, 17, 14, 19, 20, потрапляють на призми, наклеєні на лінзи об'єктивів 13 і 16. Ці призми направляють промені на середнє дзеркало 15, віддалене від головних площин об'єктивів 13 і 16, на половину фокусної відстані.

Обидві поверхні дзеркала 15 відбивають промені від марок в зворотному напрямку. Вони виходять з об'єктивів паралельними пучками і падають на відбиваючі грані призм 2 і 11. Для того щоб промені, що йдуть від марок, падали на призми під заданими кутами і відбивалися від них у напрямку, паралельному променям, що йдуть від цілі, середнє дзеркало біаксіального коліматора має форму клина, кут якого дорівнює куту між візирними осями біаксіального коліматора.

Біаксіальний коліматор являє собою оптичну систему з незмінним кутом між візирними осями. Сталість кута забезпечується тим, що вимірювальні марки нанесені безпосередньо на поверхнях лінз об'єктивів, які збігаються з головними площинами. У далекомірі розлад по дальності можуть вносити лише призми 2 і 11 внаслідок зміни кута між заломлюючими і відбиваючими гранями. Щоб зменшити цей розлад, ці призми виготовляють із спеціально відпаленого оптичного скла.

Оптичні характеристики ЗДН: $B = 1$ м; $G_T = 10^x$; $2\omega = 6^\circ$; $D' = 2,5$ мм; межі вимірювань дистанцій від 5 до 60 гектометрів ($1\text{гн}=100\text{м}$).

3 Оптиколокаційні далекоміри

В основі вимірювання відстані за допомогою оптиколокаційних далекомірів лежить залежність (9.4).

Оптиколокаційні далекоміри можна розділити на **два основні класи**:

1. **Фазові далекоміри** (використовується безперервна модуляція випромінювання при визначенні дистанції);
2. **Імпульсні далекоміри** (використовується імпульсна модуляція).

До переваг даних далекомірів можна віднести значну дальність дії і високу точність, менш залежну від відстані, ніж для зовнішньо- і внутрішньобазних оптичних далекомірів. Похибка у вимірюванні дистанції у фазових далекомірів становить 5...20 мм, у імпульсних далекомірів: 1...10 м.

3.1 Фазові далекоміри

У фазових далекомірах оптичне випромінювання модулюється за синусоїдальним законом. Формула (4) при використанні в фазових далекомірах може бути перетворена до більш зручного виду. Відстань між об'єктом і далекоміром можна виразити через цілу кількість довжин хвиль і частину хвилі модульованого оптичного випромінювання. В цьому випадку дистанція визначається:

$$L = \frac{1}{2} \cdot (N \cdot \lambda_M + \frac{\varphi^0}{360^\circ} \cdot \lambda_M) \quad (8)$$

де N – ціла кількість хвиль, що вкладається в подвійній дальності до об'єкта; $\lambda_M = c/n \cdot f_m$ – довжина хвилі модульованого оптичного випромінювання; c – швидкість світла в вакуумі; n – показник заломлення середовища, де поширюється оптичне випромінювання; f_m – частота модуляції випромінювання; φ^0 – частина періоду модуляції.

Підставивши в (9.8) величину λ_M через швидкість світла і частоту модуляції, отримаємо

$$L = \frac{c}{2nf_m} \left(N + \frac{\varphi^0}{360^\circ} \right). \quad (9)$$

Функціональна схема фазового далекоміра представлена на рис. 7.

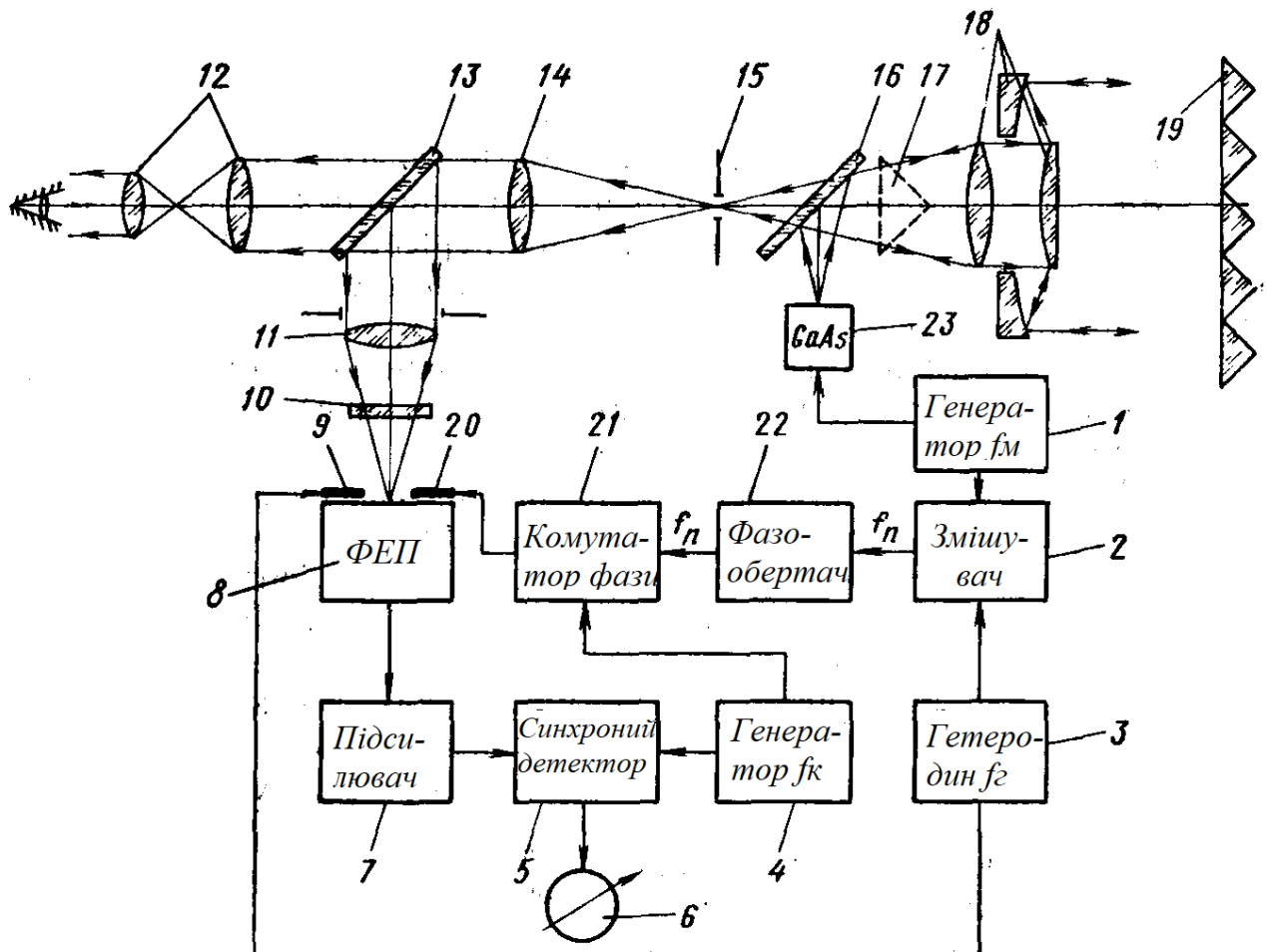


Рисунок 7 – Схема фазового далекоміра

Високочастотний синусоїдальна напруга від генератора масштабних частот *1* надходить на напівпровідниковий випромінювач (на основі арсеніду галію) *23*, що допускає модуляцію випромінювання по живленню. В якості випромінювача може також використовуватися лазер, що працює в безперервному режимі, випромінювання якого модулюється за синусоїдальним законом.

Напівпровідниковий випромінювач на основі арсеніду галію володіє вузькою спектральною шириною лінії випромінювання $\Delta\lambda \approx 30$ нм при $\lambda_{\max} \approx 900$ нм.

Ще більш перспективними є напівпровідникові лазери на основі арсеніду галію, які також дозволяють здійснювати модуляцію випромінювання по живленню. Їх монохроматичність вище, ніж у напівпровідникових діодів і має $\Delta\lambda \approx 1,2$ нм.

Випромінювання від напівпровідникового випромінювача відбивається від світлоподільної пластинки *16* і об'єктивом *18* направляється на блок кутових відбивачів *19*, встановлений в кінці вимірюваної дистанції.

Блок кутових відбивачів являє собою набір чотиригранних призм, на всі грані яких, окрім входної, нанесені дзеркальні відбиваючі покриття. Всі три дзеркальні грані складають одна з одною прямі кути (рис. 8).

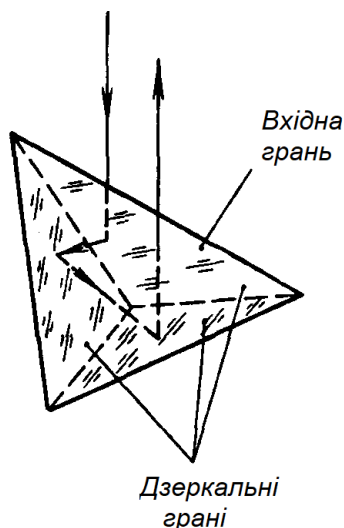


Рисунок 8 – Призма кутового відбивача

Основною властивістю таких призм є те, що пучок променів після відбивання від дзеркальних граней виходить з призми в зворотному напрямку паралельно падаючому пучку. Відбите випромінювання збирається тим же об'єктивом *18* (див. Рис. 7) і потрапляє після проходження оптичних елементів *16*, *14*, *13*, *11*, *10* на катод фотопомножувача (ФЕП) *8*, що виконує функції фотоприймача і фазового детектора.

Для зменшення впливу фонових засвічень перед катодом ФЕП встановлюється інтерференційний фільтр *10*. Спектральна смуга пропускання фільтра вибирається залежно від ширини лінії випромінювання напівпровідникового випромінювача або лазера.

Для візуального наведення приладу на відбивач служить телескопічна система *12*.

Фазовий детектування відбувається в навколкатодному просторі ФЕП. Із зовнішнього боку, поблизу катода, встановлюється зовнішній електрод. Прикладання до нього високочастотної напруги викликає появу в навколкатодному

просторі електричного поля, керуючого потоком фотоелектронів. Якщо частота цього поля дорівнює частоті модуляції випромінювання, що приймається, то фотострум ФЕП залежить від різниці фаз модульованого оптичного випромінювання і високочастотної опорної напруги, прикладеної до електрода, тобто ФЕП працює як фазовий детектор.

Для вимірювання різниці фаз між опорним сигналом і модульованим випромінюванням, які прийшли з дистанції, необхідно здійснити контрольовану зміну фази опорного сигналу. Оскільки точне вимірювання фази напруги з частотами в кілька десятків і сотень МГц пов'язано з великими труднощами, зазвичай фаза вимірюється у напруги порівняно низькою проміжної частоти (десятки і сотні кГц). Для отримання опорного сигналу є змішувач 2, на який подаються сигнали з частотами f_m і f_z від генератора масштабних частот 1 і гетеродина (допоміжного генератора) 3. На виході змішувача виділяється сигнал з проміжною частотою $f_n = f_m - f_z$ і подається на зовнішній електрод ФЕП 20 через фазообертач 22. Фазу цього сигналу можна плавно змінювати за допомогою фазообертача.

Оптичне випромінювання з частотою модуляції f_m приходить на ФЕП з дистанції, змішується в навколокатодному просторі ФЕП з сигналом частоти f_z , що подається на другий зовнішній електрод 9 ФЕП від гетеродина 3. В результаті змішування (гетеродування) утворюється змінна складова фотоструму з проміжною частотою $f_n = f_m - f_z$ фаза якої залежить від величини відстані, що вимірюється. Ця складова змішується в тому ж навколокатодному просторі ФЕП з поступаючим з фазообертача опорним сигналом частоти f_n . Якщо різниця фаз опорного сигналу і сигналу з дистанції дорівнює 180° , то фотострум на виході ФЕП буде мінімальним. При вимірі дистанції повертають рукоятку фазометра і домагаються мінімального значення сигналу на виході ФЕП. В цьому випадку різниця фаз, що відповідає заданій дальності, дорівнює $\varphi = \varphi_\phi \pm 180^\circ$, де φ_ϕ – різниця фаз опорного сигналу і сигналу з дистанції, що знімається з фазометра.

На практиці для більш точного вимірювання дальності застосовується модуляційний метод фазової індикації. Для цього в ланцюг напруги проміжної частоти з регульованою фазою вводиться комутатор фази 21. Комутатор фази здійснює періодичну перекидання фази сигналу стрибком на 180° з низькою частотою f_k , що задається генератором 4, який керує роботою комутатора фази. В результаті фазового детектування з ФЕП знімається низькочастотна напруга з частотою f_k , рівна частоті комутації фази. Амплітуда цієї напруги мінімальна, якщо різниця фаз між опорним сигналом і сигналом з дистанції становить 90 або 270° , при цьому крутизна зміни амплітуди максимальна що забезпечує високу точність вимірювання різниці фаз.

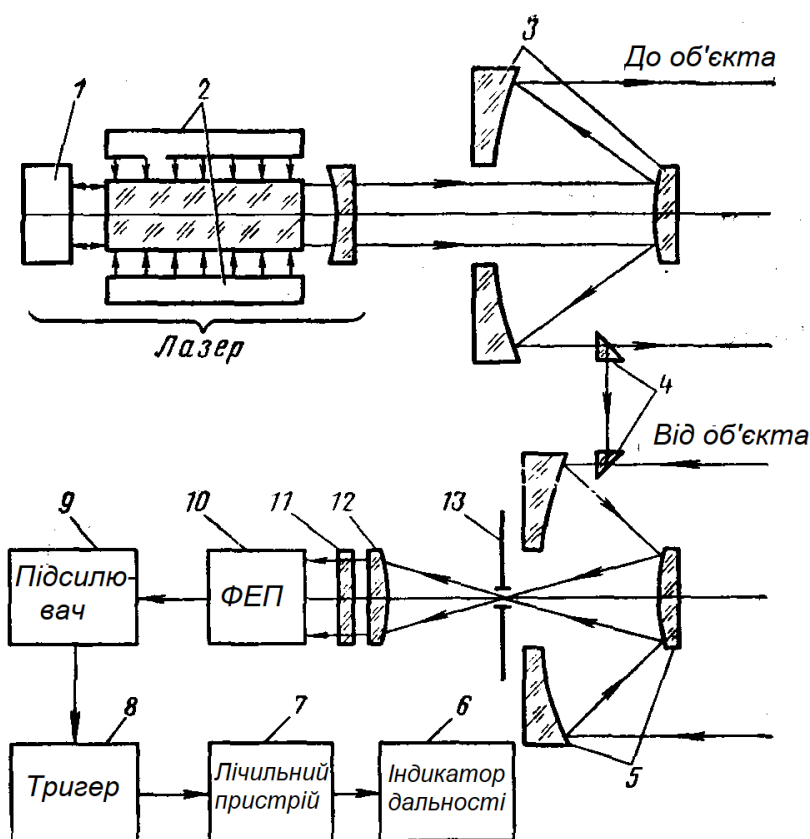
Отриманий сигнал з частотою f_k підсилюється селективним підсилювачем 7 і надходить на синхронний детектор 5, на другий вхід якого подається сигнал тієї ж частоти f_k від генератора 4. З виходу синхронного детектора знімається постійна напруга, величина якої залежить від різниці фаз між опорним і з сигналом, що надійшов від об'єкта. Ця напруга реєструється нуль-індикатором 6, який буде показувати нуль при різниці фаз, рівній $(2N + 1) 90$, де $N = 0, 1, 2, \dots$

Вимірювальним елементом далекоміра служить фазообертач.

Для однозначного виміру дистанції в далекомірах зазвичай використовується кілька масштабних частот f_{m1}, f_{m2}, f_{m3} . Відстань вимірюється на декількох частотах (зазвичай на трьох) і по ним визначається число N (ціла кількість хвиль, що вкладається в подвійній дальності до об'єкта).

В імпульсних далекомірах для визначення відстані до об'єкта використовується імпульсний метод модуляції оптичного випромінювання. Дальність до об'єкта визначається залежністю (4).

Функціональна схема імпульсного далекоміра представлена на рис. 9.



Джерелом оптичного випромінювання служить твердотільний лазер, що працює в *режимі модуляції добротності*, що здійснюється модулятором I .

15

наносекунд і з потужністю в імпульсі до декількох десятків МВт. Накачування робочого тіла лазера здійснюється однією або кількома імпульсними лампами 2.

Випромінювання лазера формується передавальною телескопічною системою 3 в пучок променів з дуже малою розбіжністю і направляється на об'єкт. Відбите від об'єкта випромінювання потрапляє в приймальну телескопічну оптичну систему 5. У вихідній зіниці оптичної системи розташовується фотокатод ФЕП 10, перед яким встановлюється вузькосмуговий інтерференційний фільтр 11, який служить для відокремлення корисного випромінювання від фону. Фільтр пропускає випромінювання в діапазоні $\Delta\lambda=1...5$ нм.

У фокальній площині об'єктива приймальної оптичної системи розташована польова діафрагма 13, яка обмежує поле зору приймальні частини далекоміра і тим самим зменшує вплив фонових завад. Частина випромінювання лазера (опорний імпульс) за допомогою призми 4 передається безпосередньо в приймальну оптичну систему, минаючи дистанцію. Після фотоелектричного перетворення ФЕП 10 опорний імпульс посилюється підсилювачем 9 і з нього формується імпульс в кілька наносекунд. Під дією імпульсу відбувається перекидання тригера 8, який генерує стартовий імпульс, що запускає лічильний пристрій 7, що представляє собою кварцовий генератор імпульсів і лічильник імпульсів.

Відбитий від об'єкта потік випромінювання проходить оптичну систему 5, перетворюється в електричний імпульс на виході ФЕП 10, зміщений за часом щодо опорного. Він також після підсилення і формування підсилювачем 9 подається на тригер 8. Під дією цього імпульсу тригер перекидається в початковий стан і генерує стоп-імпульс, який зупиняє лічильний пристрій 7. Лічильний пристрій вимірює час затримки відбитого імпульсу щодо опорного і видає в цифровий індикатор 6 значення дальності до об'єкта.

Величина дистанції обчислюється за формулою:

$$L = (N \cdot \Delta\tau \cdot c) / 2 \quad (10)$$

де $\Delta\tau$ – ширина імпульсу генератора лічильного пристрою; N – кількість імпульсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кулагин С. В., Гуменюк А. С., Дикарев В. Н., Зубарев В. Е., Лебедев Е. Н., Мосягин Г. М. Оптико-механические приборы. – М.: Машиностроение, 1984. – 352 с.
2. Бабушкин С. Г., Беркова М. Г., Гольдин К. Р., Крупп Н. Я., Муниц К. А., Сухопаров С. А., Тарасов К. И. Оптико-механические приборы. – М.: Машиностроение, 1965. – 363 с.
3. Новицкий Л. А., Гоменюк А. С., Зубарев В. Е., Хорохоров А. Оптико-электронные приборы для научных исследований. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.
4. Грейм И. А. Оптические дальномеры и высотомеры геометрического типа. – М.: Недра, 1983. – 320 с.
5. Генике А. А., Афанасьев А. М. Геодезические свето- и радиодальномеры. – М.: Недра, 1988. – 302 с.
6. Захаров А.И. Геодезические приборы: Справочник. – М.: Недра, 1989. – 314 с.
7. Плотников В.С. Геодезические приборы. – М.: Недра, 1987. – 396 с.
8. Михичев В.С. Геодезические светодальномеры. – М.: Недра, 1979.
9. Захаров А.И. Новые теодолиты и оптические дальномеры. – М.: Недра, 1970.