

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1. ЕЛЕКТРОННІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ.

Тема 3. Електронні вимірювання відстаней та кутів.

(Лекція 4 год.)

Викладення основного матеріалу:

- 1. Загальні принципи електронної віддалеметрії. Світловіддалеміри.**
- 2. Електронні теодоліти і тахеометри.**
- 3. Електронні нівеліри.**
- 4. Лазерні рулетки.**
- 5. Напрями розвитку електронної тахеометрії.**

Завдання для самостійної роботи №3.

Тема « Світловіддалеміри третього покоління »

Питання:

1. Короткий огляд зарубіжних віддалемірів.
2. Електронні теодоліти та їх системи.
3. Електронно-оптичні тахеометри.

Рекомендована література згідно робочої навчальної програми – [1, 3, 4, 6, 9, 10, 12].

1. Загальні принципи електронної віддалеметрії. Світловіддалеміри.

1.1. Загальні принципи електронної віддалеметрії.

Вимірювання відстаней за допомогою **електромагнітних хвиль** засновано на визначенні часу і швидкості їх розповсюдження уздовж дистанції, що вимірюється. При цьому можуть **бути два випадки**.

В першому з них електромагнітні хвилі проходять відстань **D**, що вимірюється, двічі. Для чого на одному кінці лінії встановлюються **передавач і приймач**, а на іншому – **відбивач**, і відстань обчислюється за співвідношенням:

$$D = v\tau / 2 \quad (3.1)$$

де **v** – швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль, **τ** – час розповсюдження уздовж дистанції в прямому і зворотному напрямках.

Такий варіант (з проходженням сигналу «туди і назад») іноді називають **запитальним методом**, вважаючи, що передавач посилає до відбивача «сигнал запити», а від відбивача приходить «сигнал відповіді».

В другому випадку хвилі проходять відстань, що вимірюється, **тільки в одному** напрямі: на одному кінці лінії є **передавач**, а на іншому – **приймач**, і відстань обчислюється за співвідношенням:

$$D = v\tau \quad (3.2)$$

де **τ** - час однократного проходження дистанції. **Цей варіант іменують беззапитним методом**.

Беззапитний метод реалізується в **глобальних супутникових системах**, що визначають координати за вимірюваними відстанями.

У всіх електронних **віддалемірах**, вживаних як на наземних, так і на космічних трасах, використовується **двократне проходження сигналу**, тобто схема з відбивачем, і, відповідно, співвідношення (3.1). Тому подальший виклад даного питання відноситиметься саме до цього випадку.

Будь-яка віддалемірна апаратура доставляє інформацію про час розповсюдження τ . Швидкість v при вимірюваннях на **наземних** трасах знаходять із співвідношення $v = c/n$ за відомим значенням **швидкості світла** у вакуумі $c = 299792458$ м/с і показнику **заломлення повітря** n , яке можна обчислити, вимірявши температуру, тиск і вологість повітря (для світлових хвиль треба знати ще довжину хвилі). На **космічних** трасах, що включають іоносферу (при вимірюванні відстаней до супутників і до Місяця) визначення **швидкості** v має свою специфіку. Віддалеміри виміряють або безпосередньо **часовий інтервал** τ , або інший параметр, що є певною функцією цього часового інтервалу.

Фізична сутність всіх методів вимірювання **відстаней** полягає в порівнянні одного і того ж параметра, пов'язаного з електромагнітним випромінюванням, до і після проходження випромінюванням дистанції, що вимірюється. Для цього один і той же сигнал від **передавача** розділяється на **дві частини** і прямує на приймач одночасно по двох різних шляхах: **безпосередньо** (без виходу на дистанцію) і **через дистанцію, що вимірюється** (рис. 3.1).

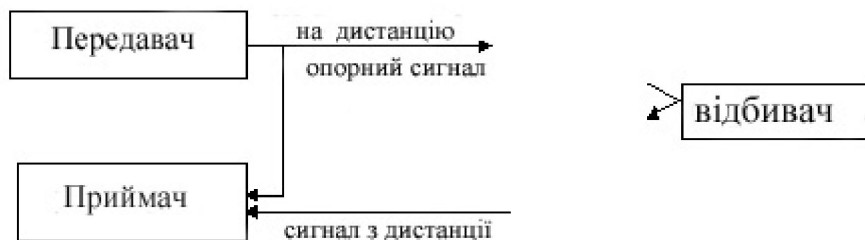


Рис.3.1. Загальна схема вимірювання відстаней за допомогою електромагнітних хвиль.

Перший шлях називають **опорним каналом або трактом**, а сигнал, що йде по ньому - **опорним сигналом**.

Другий шлях утворює дистанційний (інформаційний) канал, і відповідно сигнал, що приходить від відбивача називають **дистанційним або інформаційним сигналом**.

В приймачі (під приймачем на рис.3.1 розуміється приймально – вимірювальний пристрій) здійснюється **порівняння опорного і інформаційного сигналів** по вибраному параметру, або, іншими словами, вимірюється їх відмінність по цьому параметру, яке і містить інформацію про відстань, що вимірюється. **Вибір параметра визначає метод вимірювання відстані**.

Такими параметрами частіше за все є:

- час приходу імпульсу випромінювання (при імпульсному випромінюванні);
- фаза коливання (при безперервному випромінюванні).

В останньому випадку це може бути або *фаза гармонійного* (синусоїдального) коливання, безпосередньо випромінюваного передавачем, або, якщо це коливання (зване несучим), модульовано, - *фаза модулюючого сигналу*.

Відповідно розрізняють наступні методи вимірювання відстаней:

- *часовий* (імпульсний), з вимірюванням безпосередньо часу розповсюдження імпульсу;
- *фазовий* з вимірюванням різниці фаз на несучій частоті;
- *фазовий* з вимірюванням різниці фаз на частоті модуляції.

Часовий метод. Схема його реалізації показана на рис.3.2.



Рис.3.2. Схема реалізації часового методу

Передавач випромінює короткий імпульс, який розділяється на *два - опорний і спрямований на дистанцію*. Опорний імпульс запускає вимірника часових інтервалів, а імпульс, що повернувся з дистанції через час τ зупиняє рахунок часу.

Відстань обчислюється безпосередньо за співвідношенням $D = v\tau / 2$ (3.1). Вимірник часових інтервалів будується за схемою, принцип якої ілюструється на рис.3.3.

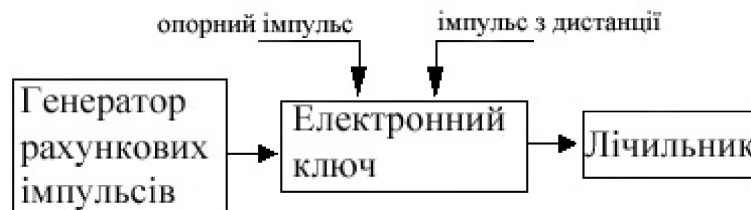


Рис.3.3. Принцип побудови вимірника часових інтервалів

Генератор виробляє безперервну послідовність гостроконечних відлікових імпульсів з періодом повторення $T_{сч}$. Ці імпульси через **електронний ключ** поступають на лічильник.

Електронний ключ – це свого роду «ворота», які можуть відкриватися, пропускаючи імпульси на лічильник, і закриватися, припиняючи рахунок. Вони відкриваються опорним імпульсом випромінювання (старт-імпульс) і закриваються імпульсом випромінювання, що прийшов з дистанції (стоп-імпульс).

Таким чином, електронний ключ виявляється відкритий на якийсь **час τ** , за яке **імпульс випромінювання** двічі проходить дистанцію і яке необхідно виміряти.

Очевидно, що τ можна визначити по числу m імпульсів, підрахованих лічильником за цей час:

$\tau = mT_{сч} = m/f_{сч}$, де $f_{сч}$ – **частота проходження відрахункових імпульсів**. Але було б найзручнішим, якби лічильник показував відразу величину відстані, що вимірюється. Це можна зробити, якщо вибрати $f_{сч}$ чисельно рівній **половині швидкості** розповсюдження випромінювання (в певних атмосферних умовах).

Дійсно, якщо в **основну формулу** для відстані $D = v\tau/2$ підставити вираз $\tau = m/f_{сч}$, то отримаємо:
 $D = vm/2f_{сч}$.

Якщо тепер покласти $f_{сч} = v/2$, то матимемо $D = m$, **тобто число імпульсів, що показується лічильником, виражатиме собою безпосередньо відстань D** . (Ми не розглядаємо такі неістотні тут деталі, як питання розмірності). В отриману величину D вводиться **поправка за відмінність реальної швидкості v** від «закладеного в прилад» значення.

Оскільки лічильник може рахувати *тільки ціле* число імпульсів, то виникає *помилка дискретності рахунку*, яка тим менша чим менше $T_{сч}$, тобто чим більша частота проходження відлікових імпульсів.

Крім того, важко отримати імпульси випромінювання малої тривалості з крутим фронтом. *Тому імпульсний метод* характеризується порівняно великою *абсолютною погрішністю*. Погрішність при вимірюванні τ , дорівнює *10 нс*, дає помилку у відстані *1,5 м*. *Тому імпульсний метод вигідно використовувати для вимірювання великих відстаней, коли відносна погрішність вимірювання виходить малою.*

Найбільш ефективне застосування *імпульсного методу в оптичному діапазоні* для вимірювання дуже великих відстаней, зокрема, до ШСЗ, що і використовується *в лазерній супутниковій віддалеметрії*. Оскільки відстані великі, то лазерний імпульс повинен бути дуже великої потужності; вона тим більше, чим менше тривалість імпульсу. Для вимірювання відстаней до ШСЗ застосовуються, як вже згадувалося, *твердотільні лазери*. Довгий час типове значення тривалості імпульсу складало приблизно *10 нс* при піковій потужності до *100 Мвт*.

В останньому поколінні таких віддалемірів застосовуються *пікосекундні твердотільні лазери на гранаті*, які генерують оптичні імпульси надкороткої тривалості порядку десятків пікосекунд ($1\text{пс} = 10\text{-}12\text{ с}$) з піковою потужністю до декількох гігаватт ($1\text{ Гвт} = 10^9\text{ Вт}$). За час в *1 пс* світло проходить *0,3 мм*, і застосування пікосекундних лазерів забезпечує різке підвищення точності імпульсного методу.

Фазовий метод на модульованому випромінюванні.

Цей метод використовується у всіх наземних геодезичних і топографічних світловіддалемірах і радіовіддалемірах, межа дальності дії яких може лежати в діапазоні *від декількох кілометрів до декількох десятків кілометрів*.

Джерело світла або радіохвиль випромінює несучі гармонійні коливання вигляду $A \sin (\omega t + \phi_0)$. Але перед виходом випромінювання на дистанцію який-небудь з цих параметрів (в світловіддалемірах звичайно амплітуда A , яка визначає інтенсивність світла, а в радіовіддалемірах - частота f) піддається модуляції по *синусоїдальному закону* з деякою частотою F , набагато меншої *несучої частоти f* .

Тобто, *наприклад*, в світловіддалемірах інтенсивність що виходить на дистанцію світла стає то більше, то менше, і це відбувається з *частотою модуляції F* . В світловому потоці виникає огинаюча – *синусоїда частоти F* . Фаза цієї синусоїди після проходження світлом відстані $2D$ (до відбивача і назад) відрізнятиметься від *фазу* у момент випромінювання на величину ϕ , яка залежить від *часу розповсюдження τ* :

$$\phi = 2\pi F\tau = 2\pi F(2D/v). \quad (3.3)$$

Цю різницю фаз вимірюють *фазометром*, включеним між передавачем і приймачем. З формули (3.3) витікає, що шукану відстань D можна обчислити за формулою:

$$D = (v/2F)(\phi/2\pi). \quad (3.4)$$

На рис.3.4 показана узагальнена схема реалізації *фазового методу* з вимірюванням різниці фаз на частоті модуляції F .



Рис.3.4. Функціональна схема фазового віддалеміра

Оскільки *фаза – кутова величина*, значення якої повторюється через кожні 360° , тобто 2π , то загальний *фазовий зсув* ϕ у формулі (3.3) можна представити у вигляді:

$$\phi = 2\pi N + \Delta\phi, \quad (3.5)$$

де N – ціле число повних фазових циклів по 2π , а $\Delta\phi$ – дробова частина циклу, *менша* 2π . Будь-який *фазометр* може виміряти різницю фаз тільки в межах *від 0 до 2π* , тобто тільки $\Delta\phi$. Число ж N залишається невідомим.

Підставляючи (3.5) в (3.4), одержуємо *основне рівняння фазової віддалеметрії*:

$$D = (v/2F)(N + \Delta\phi/2\pi) \quad (3.6)$$

яке часто записують в більш *простому* вигляді:

$$D = (\lambda/2)(N + \Delta N), \quad (3.7)$$

де $\lambda = v/F$ – довжина хвилі модуляції, $\Delta N = \Delta\phi/2\pi$ – дріб, менший одиниці.

Частоту модуляції F часто називають *масштабною частотою*, оскільки відповідна їй довжина хвилі λ є тією масштабною мірою, яка «укладається» на відстані $2D$ (або, що те ж, половина довжини хвилі укладається на відстані D).

Число укладень складає $(N + \Delta N)$, що наочно видно з формули (3.7).

В основному рівнянні фазової віддалеметрії два невідомих: D і N . Таке рівняння не має однозначного рішення, і виникає так звана *проблема вирішення неоднозначності* (часто використовують також термін багатозначність) – *проблема визначення цілого числа N* .

Вирішення багатозначності у фазових віддалемірах. В більшості сучасних світловіддалемірів і у всіх радіовіддалемірах багатозначність вирішують так званим **способом фіксованих частот**, при якому в віддалемірі передбачають кілька точно відомих частот модуляції, що перемикаються.

При всіх варіантах цього способу вони засновані на одній і тій ж **ідеї: наявність декількох частот дозволяє створити ряд масштабних довжин хвиль, перша з яких відповідає основній (найвищій) частоті модуляції, а кожна подальша більше в ціле число раз.** Це число звичайно вибирається рівним **10**, а **перша частота** в автоматизованих віддалемірах – частіше всього така, щоб відповідна їй напівхвиля **складала** (при стандартних метеоумовах) **10 м** (частота ≈ 15 МГц), що зручне для створення десяткової системи розрядів (так званий **порозрядний спосіб**). Якщо напівхвиля $\lambda/2 = 10$ м, то наступні значення будуть $\lambda/2 = 100$ м $\lambda/2 = 1000$ м і т.д. Для цих **масштабних довжин** напівхвиль можна записати рівняння вигляду (3.7) з своїми значеннями N і ΔN .

Що ж нам дає наявність ряду цих напівхвиль, що десятиразово збільшуються? Річ у тому, що при **способі фіксованих частот**, скільки б їх не було, для вирішення задачі потрібна **додаткова умова – знання наближеного значення дистанції, що вимірюється ($D_{\text{прибл}}$)**. Все питання в тому, з якою точністю потрібно його знати. Якщо в віддалемірі тільки одна фіксована частота (довжина хвилі), то для безпомилкового визначення числа N треба знати відстань з помилкою **менше чверті довжини хвилі**. Це виходить безпосередньо з рівняння (3.7). Дійсно, переписавши його у вигляді

$$N = (2D/\lambda) - \Delta N \quad (3.8)$$

і перейшовши до **середніх квадратичних помилок m** , отримаємо:

$$m_N = (2/\lambda) m_D. \quad (3.9)$$

Щоб ціле число N було визначено вірно, його помилка повинна бути менше **0,5**. Поставивши умову $m_N < 0,5$, з (3.9) знайдемо:

$$m_D < (\lambda/4). \quad (3.10)$$

Наперед знати відстань з такою точністю (для приведеного вище випадку – з помилкою менше **2,5 м**) – нездійсненна вимога навіть за наявності великомасштабних карт. Створення ж вказаного вище ряду довжин хвиль дає можливість знати $D_{\text{прибл}}$ набагато грубіше. Кожний ступінь знижує вимоги до точності знання $D_{\text{прибл}}$ в **10 разів**, і в результаті нього вимагається знати з помилкою менш чверті найбільшої довжини хвилі. Якщо вона складає, скажімо, **20 000 м** (напівхвиля 10 000 м), то допустима помилка повинна бути менш $\pm 2,5$ км; іншими словами, треба знати, скільки цілих **5-кілометрових відрізків міститься у відстані, що вимірюється**.

Склавши для кожної з **напівхвиль**, що збільшуються в **10 разів** рівняння вигляду (3.7) і додавши до них рівняння $D = D_{\text{прибл}}$, ми одержуємо однозначно вирішувану систему найточніший розряд і його частки визначають на **першій частоті**.

В деяких світловіддалемірах багатозначність вирішують **іншим методом – способом плавної зміни частоти модуляції**. В цьому способі у ручну або автоматично підбирають **дві (або кілька) такі частоти**, при яких у відстані укладається ціле число N напівхвиль модуляції (різне для цих частот), тобто в рівняннях вигляду (3.7) $\Delta N = 0$, і ці частоти виміряють.

При цьому в віддалемірі передбачають **пристрій**, що дозволяє фіксувати моменти, коли $\Delta N = 0$, і, отже, прорахувати різницю чисел N для цих частот. Знаючи цю різницю і самі частоти, можна легко обчислити і цілі числа N , тобто вирішити **багатозначність**.

Спосіб плавної зміни частоти не вимагає знання наближеної відстані, але при цьому не можна виміряти відстань, меншу певної межі.

Ця межа дорівнює

$$D_{\min} = v/\Delta F \quad (3.11)$$

де v – швидкість світла, ΔF – максимальний діапазон зміни частоти модуляції.

Фазовий метод на несучій частоті.

При цьому методі працюють на не модульованому випромінюванні, виміряючи різницю фаз випромінюваних і прийнятих електромагнітних хвиль.

Фазові вимірювання на не дуже високій несучій частоті, що відповідають діапазону довгих і середніх радіохвиль, часто використовуються в радіогеодезичних системах (РГС), призначених для визначення координат рухомих об'єктів на морі, на землі і в повітрі (кораблів, літаків, автотранспортних засобів); проте в даний час РГС в значній мірі витиснені супутниковими системами.

Фазовий метод на несучій частоті в оптичному діапазоні називається інтерференційним, бо він заснований на безпосередній реєстрації результату інтерференції двох світлових пучків. Цей метод буде розглянутий в подальшому.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ:

1. В чому суть запитного та беззапитного методу?
2. Яка фізична суть усіх методів вимірювання?
3. Що таке тимчасовий метод?
4. Що таке спосіб фіксованих частот?
5. Де використовують спосіб плавної зміни частот модуляції?

1.2. Світловіддалеміри.

Про світло - і радіовіддалеміри. У світловіддалемірів, радіовіддалемірів *довжина хвилі модуляції* може лежати в діапазоні від 0,6 м до 20 м, що відповідає частоті F від 500 МГц до 15 МГц. *Чим більше F , тим точніше віддалемір.* Несуча ж частота f набагато вище, ніж F , і, відповідно, довжина хвилі несучої v/f набагато менше довжини хвилі модуляції v/F .

Несуча хвиля більшості радіовіддалемірів складає 3см ($f=10000\text{МГц}=1010\text{Гц}$), а в *світловіддалемірах* довжина хвилі несучої – це довжина хвилі світла, яка, наприклад, при використанні *гелій-неонового (He-Ne) лазера* дорівнює 0,63 мкм. Це *червоне світло* з частотою $f \approx 5 \cdot 10^{14}$ Гц.

Таким чином, з принципової точки зору світловіддалеміри і радіовіддалеміри *відрізняються лише довжиною хвилі несучих коливань* - в радіовіддалемірах вона на **4-5 порядків** більше, ніж в світловіддалемірах. Але така відмінність всього лише в одному параметрі приводить до різкої відмінності цих приладів в схемних і конструктивних відношеннях, оскільки для оптичних хвиль і радіохвиль застосовуються абсолютно різні методи передачі, модуляції і прийому.

В даний час геодезичні радіовіддалеміри не випускаються і представляють лише історичний інтерес.

Фазові світловіддалеміри.

На рис.3.5 показана узагальнена *блок - схема фазового світловіддалеміра*. Випромінюване джерелом світло пропускається через *модулятор*, керований генератором моделюючої частоти F . Як модулятор останнім часом частіше за все застосовується *електрооптичний модулятор Поккельса*, робота якого заснована на лінійному електрооптичному ефекті (ефекті Поккельса).

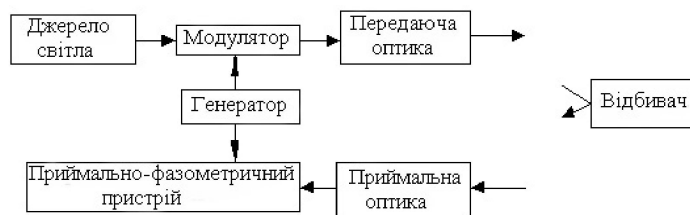


Рис.3.5. Узагальнена блок-схема фазового світловіддалеміра.

Теорія ефекту пов'язана з *кристалооптикою* і досить складна; тут слід відзначити лише, що *модулятор є кристалом* у формі паралелепіпеда, до верхньої і нижньої граней якого прикладена напруга від генератора. Поляризоване світло, що входить в торець кристала лінійно перетворюється на виході з кристала у світло з еліптичною поляризацією, у якого вид еліпса під дією змінної моделюючої напруги від генератора періодично змінюється з частотою **F**, тобто світло модулюється **за поляризацією**. Таку **поляризаційну модуляцію** потім перетворюють в амплітудну, тобто *модуляцію світла* по інтенсивності, поставивши на шляху світлового пучка **поляризатор** (який в цьому випадку називають аналізатором), вісь пропускання якого перпендикулярна напрямку поляризації, що входить в кристал випромінювання.

За допомогою *передаючої оптичної системи* модульоване світло прямує на відбивач, встановлений в кінцевій точці лінії, що вимірюється.

Як відбивач звичайно використовуються *кутові призми* (одна або декілька в єдиному блоці), які володіють тією чудовою властивістю, що світло відображається в тому ж напрямі навіть при розвороті призми до **30°**. Частина відображеного світла поступає в приймальну оптичну систему і прямує на приймально-фазометричний пристрій, основними компонентами якого є *фотоприймач (приймач світла) і фазометр*.

Як фотоприймач використовується *фотодіод або фотоелектронний помножувач (ФЕП)*, перетворюючий світло в електричний сигнал, який поступає на один вхід фазометра. На другий вхід фазометра подається сигнал від генератора масштабної частоти, який слугує опорним сигналом. Фазометр вимірює різницю фаз між опорним сигналом і тим, що прийшов з дистанції. **В сучасних світловіддалемірах використовується цифровий фазометр.**

Ідея цифрових (дискретних) фазових вимірювань полягає в тому, що шукана різниця фаз перетвориться у відповідний інтервал часу, який потім вимірюється шляхом підрахунку числа імпульсів (з відомим періодом повторення) за цей інтервал. По суті справи, тут використовується той же принцип, що і в часовому (імпульсному) методі віддалеметрії (**див. рис.3.3**), але з деякими істотними *відмінностями*.

По-перше, опорний сигнал і сигнал з дистанції синусоїдальні, і з них формуються прямокутні імпульси; електронний ключ відкривається переднім фронтом імпульсу опорного сигналу і закривається переднім фронтом імпульсу дистанційного сигналу.

По-друге, оскільки різниця фаз двох синусоїдальних сигналів може бути знайдена тільки в межах *від 0 до 2π* (величина $\Delta\phi$ у формулі (3.5)), інтервал часу між старт - і стоп-імпульсом дорівнює не повному часу *розповсюдження τ*, а дробової частини $\Delta\tau$ періоду коливань тієї частоти, на якій працює фазометр.

Іншими словами, електронний ключ виявляється відкритим на якийсь час $\Delta\tau$, пов'язаний з вимірюваною різницею фаз $\Delta\phi$, співвідношенням $\Delta\phi = 2\pi F_{\phi} \Delta\tau$, де F_{ϕ} – частота сигналів, що поступають на фазометр.

Ця частота звичайно *набагато нижче за частоту модуляції F*, що виробляється генератором масштабних частот, і утворюється в результаті *гетеродинування*, для чого в схему вводиться *гетеродин* (див. рис.2.3, де низька частота позначена через Δf).

Таку схему називають гетеродинною схемою.

Принцип її побудови показаний на рис.3.6.

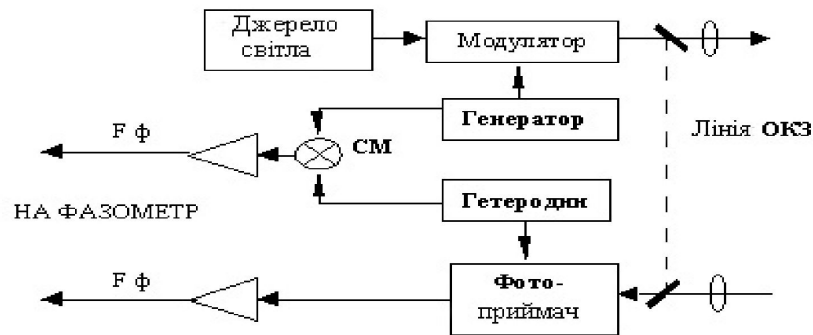


Рис.3.6. Принцип побудови гетеродинної схеми світловіддалеміра.

В опорному каналі частоти *генератора і гетеродина* змішуються в радіотехнічному змішувачі **СМ**, а в сигнальному каналі функцію змішувача *виконує фотоприймач*, на який поступає частота від гетеродина і світло, модульоване з частотою генератора. Нагадаємо, що при гетеродинуванні фазові співвідношення *не змінюються*, і тому *значення $\Delta\phi$* на низькій різницевій частоті F_ϕ залишається таким же, як і на частоті модуляції F .

Щоб результат вимірювань був отриманий *у вигляді відстані*, частота рахункових імпульсів, як і при часовому методі, вибирається чисельно рівній половині швидкості світла за певних умов (з подальшим введенням поправки на реальні умови вимірювань). Для забезпечення десяткової системи відліку частота рахункових імпульсів $f_{сч}$ повинна бути пов'язана з частотою F_ϕ , що поступають на фазометр сигналів співвідношенням:

$$f_{сч} = 10^k F_\phi, \quad (3.12)$$

де k – ціле число. Звичайно $k = 3$, що забезпечує точність результату до **0,001** від масштабної одиниці довжини, тобто від *половини довжини хвилі модуляції*. При типовій частоті модуляції близько **15 МГц** ($\lambda/2 = 10$ м) це дає **1 см**. Для підвищення точності проводиться *не однократно, а багатократно вимірювання різниці фаз* (наприклад, 1000 окремих вимірювань, які наступають один за одним протягом приблизно 10с), і результати вимірювань усереднюються. Усереднений по багатьох вимірюваннях результат видається на електронне цифрове табло *на один розряд точніше*, тобто остаточна точність виходить **0,0001 від $\lambda/2$** (в *приведеному вище прикладі – 1 мм*).

Через нестабільність електронних компонентів фазовий зсув сигналів за час вимірювань може змінюватися на значну величину.

Вплив цього фазового *дрейфу* може компенсуватися введенням в схему лінії *«оптичного короткого замикання» (ОКЗ)*, показаної на *рис.3.6 пунктиром*. По лінії ОКЗ світло прямує відразу на приймач, минувши дистанцію. Лінія ОКЗ є свого роду *«внутрішньою дистанцією»*, вбудованою в прилад, і тому може бути зміряна таким же чином, як і *«зовнішня дистанція»*. В приладі передбачена можливість перемикання світла на відбивач і на лінію ОКЗ. *Оскільки вимірювання «зовнішньої і «внутрішньої» дистанцій» проводиться однією і тією ж апаратурою, різниця вимірювань на відбивач і на лінію ОКЗ буде вільною від впливу фазового дрейфу за умови, що ці вимірювання слідуєть достатньо швидко один за одним.*

В сучасних автоматизованих приладах швидке чергування вимірювань часто здійснюється за допомогою того, що обертається *обтюратор – заслінка з отвором, що відкриває шлях світлу поперемінно на відбивач і на лінію ОКЗ*.

Як *джерело випромінювання* застосовується, за рідкісним виключенням, або *газовий лазер на суміші гелій-Неон (He-Ne)*, випромінюючий у видимій області спектру (*червоне* світло з довжиною хвилі *0,63 мкм*), або *напівпровідниковий лазер* (а раніше – і світлодіод) на *арсеніді галію (GaAs)*, випромінюючий в ближній інфрачервоній області (довжина хвилі лежить в діапазоні *0,8 – 1,2 мкм*). При використуванні *напівпровідникових випромінювачів* не вимагається зовнішнього модулятора (здійснюється внутрішня модуляція).

Чим більше частота модуляції світла, тим вище точність віддалеміра. Тому в прецизійних світловіддалемірах модуляція здійснюється на НВЧ (надвисоких частотах) – частотах більше **300 МГц**.

В віддалемірах щонайвищої точності застосовується He-Ne лазер і зовнішній модулятор, але головне полягає в тому, що використовується інший тип схеми, в якій світло, перш ніж потрапити на фотоприймач, проходить через *демодулятор – пристрій, аналогічний модулятору*, і фазові вимірювання проводяться на високій частоті модуляції (без гетеродинування). На модулятор і демодулятор подається один і той же сигнал від генератора, і така схема називається *схемою з синхронною демодуляцією*. При цьому найдосконалішим варіантом є такий, коли модуляція і демодуляція здійснюється в одному і тому ж пристрої, що служить модулятором при передачі і демодулятором при прийомі (модем – модулятор-демодулятор).

Така модифікація ілюструється на рис.3.7.

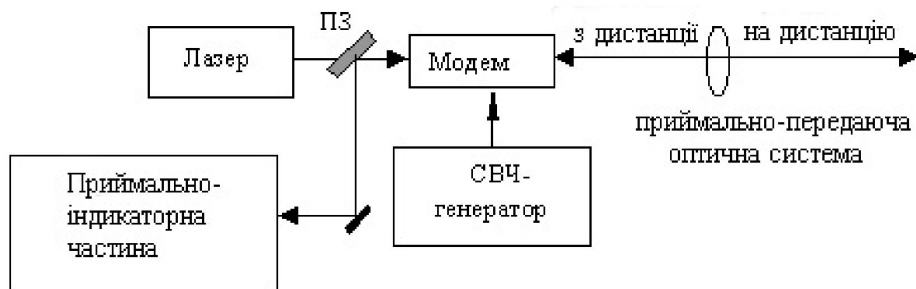


Рис.3.7. Принцип побудови схеми з синхронною демодуляцією і суміщеними приймальним і передаючим трактами.

Світло від лазера проходить через напівпрозоре дзеркало **ПЗ**, модулюється і прямує на дистанцію. Світло, що повернулось від відбивача проходить через ту ж оптичну систему, модем, і, частково відобразившись від напівпрозорого дзеркала, поступає в **приймально-індикаторну частину** віддалеміра. В теорії показується, що середнє за період модуляції значення інтенсивності світла, що двічі пройшло через модем (туди і назад) і що поступає на приймач, стає рівним **нулю**, якщо підлягаючий вимірюванню **фазовий зсув** $\phi = 2\pi N + \Delta\phi$ привести до значення $\phi = 2\pi N$ (при якому, у вимірюваній дистанції, укладається ціле число напівхвиль модуляції). Це приведення можна здійснити або зміною частоти модуляції **F**, або зміною відстані **D**, вводячи в схему **оптичну лінію затримки (ОЛЗ)** змінної довжини.

Зафіксувавши умову $\phi = 2\pi N$ (її називають цілочисельною умовою) по моменту нульової інтенсивності світла і вимірявши у цей момент частоту **F** або зміну відстані (величину **d**, відлічувану по ОЛЗ), можна обчислити **довжину дистанції, що виміряється**, за співвідношеннями:

в першому випадку (при частоті **F**, що **виміряється**)

$$D = (v/2F)N = (\lambda/2)N \quad (3.13)$$

в другому випадку (при **фіксованій** частоті **F**)

$$D = (v/2F)N - d = (\lambda/2)N - d \quad (3.14)$$

В розглянутій схемі **не вимагається лінії оптичного короткого замикання (ОКЗ)**.

Імпульсно-фазові світловідалеміри.

Чисто імпульсний (часовий) метод вимірювання відстаней (його можна назвати *моноімпульсним*, оскільки для визначення відстані достатньо одного імпульсу випромінювання), як вже наголошувалося вище, не отримав розповсюдження в наземній геодезії через його недостатньо високу точність, *і застосовується в лазерних віддалемірах, призначених для вимірювання дуже великих відстаней (до ШСЗ, до Місяця)*. Ці віддалеміри є імпульсними за енергетичними міркуваннями; в них використовуються могутні *імпульсні лазери*, а відносна помилка вимірювань невелика через значну відстань.

Проте імпульсний режим роботи має *перевагу* в тому відношенні, що при однаковій середній потужності випромінювання імпульсні віддалеміри для наземних вимірювань мають більшу дальність дії, ніж фазові віддалеміри з безперервним випромінюванням. Тому певна увага надана розробці світловідалемірів, поєднуючи імпульсний режим випромінювання, що дає підвищену дальність дії, з фазовим методом вимірювань, що дає високу точність. *Такі віддалеміри отримали назву імпульсно-фазових.*

В імпульсно-фазовому віддалемірі, окрім оптимізації по дальності і точності, з'являється також можливість вирішення проблеми *неоднозначності*, що властива фазовому методу, не застосуванням декількох частот модуляції, а шляхом наближеного вимірювання відстаней чисто імпульсним методом.

Не вдаючись в детальний розгляд імпульсно-фазової віддалеметрії, вкажемо лише, що можливі *два основні способи здійснення імпульсно-фазових світловідалемірів.*

Перший спосіб полягає в модуляції імпульсів випромінювання високочастотним сигналом і вимірюванні зсуву фази модуляції, як у фазових віддалемірах.

Другий спосіб – використання гармонійних складових імпульсного сигналу, що дозволяє обійтися без додаткової модуляції. Стисло пояснимо, що тут мається на увазі. *Імпульсний сигнал*, що має достатньо стабільну частоту повторення, можна по *теоремі Фур'є* представити у вигляді суми гармонійних складових – *спектру гармонік, кратних частоті повторення імпульсів.*

Спектр періодичної послідовності імпульсів дається виразом

$$(3.15) \quad \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \varphi_n)$$

де A_n – амплітуда, φ_n – початкова фаза *n-ої гармоніки*.

При проходженні відстані, що вимірюється, кожна гармоніка набуває додатковий фазовий зсув, рівний $n\omega(2D/v)$, де n – номер гармоніки.

Таким чином, виділивши певну гармоніку із спектру імпульсного сигналу в приймальному пристрої віддалеміра, можна здійснити на ній фазові вимірювання. *Відстань буде отримана тим точніше, чим вище номер гармоніки, тобто більше вимірювальна частота, проте необхідно враховувати, що із збільшенням номера гармоніки зменшується її амплітуда.*

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ:

1. На чому основана робота електрооптичного модулятора Паккельса?
2. Де використовують цифровий фазометр? Яка головна його ідея?
3. Що називають гетеродинною схемою?
4. Від чого залежить поява «оптичного короткого замикання»?
5. Що використовується у якості джерела випромінювання?
6. Які існують способи реалізації імпульсно-фазових світлодаальномерів?

2. Електронні теодоліти і тахеометри.

2.1. Електронні теодоліти.

Електронні вимірювання кутових величин реалізуються в електронних теодолітах і електронних тахеометрах.

Електронний теодоліт є пристроєм, в якому проводиться автоматичне причитування кутових величин з перетворенням їх в електричні сигнали. Ця операція здійснюється за допомогою **аналоغو-цифрових перетворювачів (АЦП)**. В електронних теодолітах застосовуються **два основні види АЦП**, які відрізняються методом отримання інформації про кут у вигляді електричних сигналів.

Ці два методи отримали назву **кодового і інкрементального**; останній часто називають просто **цифровими**.

Кодовий метод. При цьому методі лімб, з якого прочитується кутова величина, є **скляним диском**, на якому нанесена система концентричних кодових доріжок, що складаються з окремих елементів типу «так – ні» (наприклад, прозорих і непрозорих ділянок), забезпечуюючих можливість створення сигналів **1 і 0** в двійковій системі при причитуванні. Розташування цих елементів таке, що вони в певному коді зашифровують підлягаючу вимірюванню кутову величину, причому кожна доріжка звичайно відповідає певному розряду в значенні кутової величини, що виміряється. Кількість доріжок і послідовність розташування елементів в них залежать від вибраного коду і бажаної точності отримання кута. Як код можуть використовуватися різні числові коди – **двійковий, двійково-десятковий, циклічний і ін.** На рис.3.8. показаний вид кодового круга в електронному теодоліті, що є складовою частиною одного з **електронних тахеометрів** фірми

«Х'юлетт- - Паккард» (США).

Кодовий метод є абсолютним методом, тобто таким, при якому значенню кутового напрямку (певному кутовому положенню кодового диска) однозначно відповідає певний кодований вихідний сигнал.

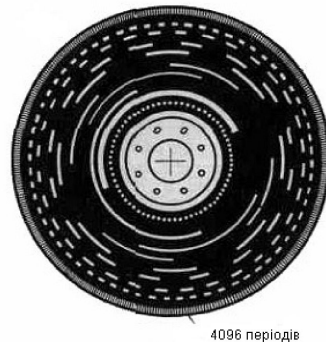


Рис.3.8. Приклад кодового круга в електронному теодоліті.

Для причитування інформації з *кодових дисків* використовується, як правило, *оптичний (фотоелектричний) спосіб*: кодовий диск просвічується світловим пучком, який потім поступає на фотоприймальний пристрій, наприклад, на матрицю фотодіодів, що дозволяє отримати на виході різні комбінації електричних сигналів при зміні кутового положення кодового диска. *Таким чином*, кожна комбінація відповідає певному значенню кутового напрямку; далі електричні сигнали поступають в логічні схеми обробки, що здійснюють декодування і відтворення величини, що вимірюється, в цифровому вигляді на табло.

Інкrementальний метод. Він заснований на використуванні *штрихового растру* – системи *радіальних штрихів, що наносяться звичайно на зовнішньому краю лімба або алідади через однакові інтервали*. Густина растру може бути дуже високою (*до сотень штрихів на 1мм*) що забезпечує *високу точність вимірювань*. Непрозорі штрихи і прозорі інтервали між ними (звичайно рівні товщині штрихів) утворюють послідовність елементів «так – ні», які в цьому випадку *називають інкрементами (від англ. increment – нескінченно малий приріст)*. Кут повороту такого растрового круга може бути оцінений по кількості інкрементів, що пройшли через фіксовану точку. Причитування проводиться також *оптичним методом* і кількість пройдених інкрементів виражається *числом імпульсів* світла, що поступили на фотоприймач.

При цьому для забезпечення реверсивного рахунку імпульсів, тобто відліку з урахуванням напрямку обертання круга, застосовуються *два фотоприймачі (фотодіода)*, що сприймають імпульсні сигнали, зсунуті по фазі *на 90°*. Цього може бути досягнуто або відповідним розміщенням фотодіодів щодо растру, або застосуванням двох однакових растрових послідовностей, зсунутих на *1/4 інкремента*.

Принципи зчитування кутів по горизонтальному і вертикальному кругам ідентичні.

Одним з можливих варіантів є використання *відображуючого растра*, в якому інтервали між штрихами не пропускають, а *відбивають світло*.

Принцип системи відрахування в цьому випадку, використаний, наприклад, у високоточних теодолітах Теомат і тахеометрах Тахимат швейцарської фірми «Вільд», ілюструється на рис.3.9.

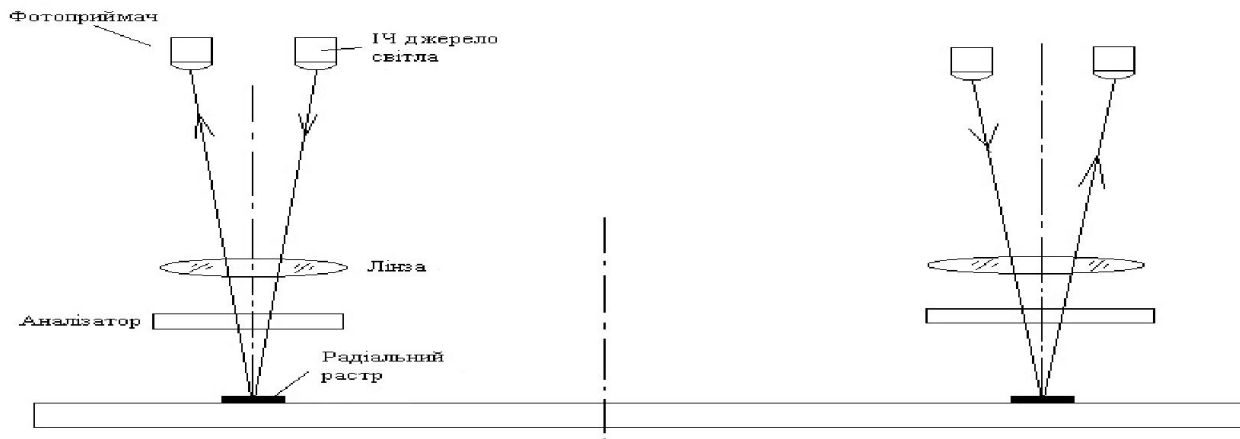


Рис. 3.9. Принцип прочитування при використанні відбивного растру.

В реальних системах має місце не імпульсне, а приблизно синусоїдальна зміна інтенсивності світла на фотоприймачах при обертанні растрового круга, і імпульси формуються з одержуваних на виході фотоприймачів сигналів відомими електронними способами.

Інкрементальний метод є відносним методом, при якому визначаються тільки зміни кутового положення круга, тобто вимірюються кути, тоді як при кодовому методі вимірюються напрямки, а кути обчислюються як різниці напрямків.

Як при кодовому, так і при інкрементальному методі для підвищення точності причитування кутів застосовуються **інтерполятори – системи**, що містять декілька, розташованих певним чином по відношенню до кутового круга **пар фотодіодів**, сигнали від яких зсунуті по фазі на певну величину; ці сигнали обробляються спільно, що дозволяє отримати високий кутовий дозвіл.

Прикладом інтерполятора може служити система, зображена на рис.3.9.; **тут аналізатор**, на якому також нанесені штрихи, грає роль **дифракційних решіток**, що дозволяють отримати в площині **зображення 4 пучки і використати 4 фотоприймачі**, розташовані таким чином, що вони при обертанні круга створюють чотири електричні сигнали, зсунуті по фазі щодо один одного **на 90°**. За допомогою їх складання і віднімання утворюються ще **4 сигнали**, і всі ці сигнали обробляються спільно.

В сучасних електронних теодолітах точність вимірювання кутів може бути дуже високою, досягаючи **0,5"**.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ:

1. Що таке цифровий метод?
2. Якими являються кодовий та інкрементальний методи?
3. Для чого використовується штриховий растр?
4. Де використовується зчитування кутів за допомогою оптичного проміння?
5. Що використовують в електронних теодолітах для підвищення точності?
6. Що може використовуватись в електронних тахеометрах?
7. Які величини являються вимірюваними?
8. Які з величин являються обчисленими?

2.2 Електронні тахеометри.

Електронним тахеометром називають прилад, що дозволяє виконувати як кутові, так і лінійні вимірювання з можливістю сумісної їх обробки.

Електронний тахеометр є об'єднанням теодоліта, світловіддалеміра з напівпровідниковим випромінювачем і мікропроцесора або мікрокомп'ютера в єдину нероз'ємну або модульну конструкцію.

Крім того, прилад, що володіє функціями електронного тахеометра, може бути отриманий при установці малогабаритного автоматизованого топографічного світловіддалеміра на оптичний або електронний теодоліт. Саме так конструювалися електронні тахеометри першого покоління. В цьому випадку реєстрація результатів кутових і лінійних вимірювань проводиться роздільно і для їх сумісної обробки необхідний зовнішній обчислювальний пристрій, який у вигляді окремого блоку може, наприклад, закріплюватись на штативі теодоліта.

В електронних же тахеометрах нероз'ємної конструкції обчислювальний пристрій вбудований в сам прилад, а клавіатура управління виведена на передню панель приладу.

Електронні тахеометри можуть бути розділені на два типи:

- електронні тахеометри з *візуальним* відліком кутів (позначимо їх **ЕТ/В**);
- електронні тахеометри з *електронним* відліком кутів (позначимо їх **ЕТ/Е**).

В **ЕТ/В** кутомірною частиною тахеометра є *оптичним теодолітом з шкаловим мікроскопом або оптичним мікрометром*; в ньому відліки, що знімаються *візуально* вводяться в процесор ручним набором на клавіатурі.

В **ЕТ/Е** кутомірною частиною є *електронним теодолітом з цифровою індикацією кутових величин на табло*. Лінійні величини (результат віддалемірних вимірювань) виводяться в цифровому вигляді на табло в обох типах тахеометрів.

Тахеометри типу **ЕТ/Е** в зарубіжній літературі називають «*універсальними станціями*» (Total Station).

Автоматизація в електронних тахеометрах і узагальнена схема їх будови.

Функції управління, контролю і обчислення здійснюються за допомогою мікропроцесора. На табло можуть видаватися похила відстань, горизонтальне прокладання, перевищення, горизонтальні і вертикальні кути або зенітні відстані по команді з пульта управління процесора. **В сучасних електронних тахеометрах** використовуються мікрокомп'ютери, що є поєднанням мікропроцесора з пам'яттю і пристроями введення і виведення даних. В цьому випадку дані можуть не тільки видаватися на табло, але також реєструватися в пристрої, що запам'ятовує, і можуть бути виведені на зовнішній накопичувач або зразу ж обробляються відповідно до постійно закладених в пам'ять («защитих») програм, дозволяючи безпосередньо в польових умовах одержувати координати пунктів і проводити інші спеціальні і контрольні обчислення, пов'язані з вирішенням різних геодезичних задач.

Результати цих обчислень також можуть видаватися на табло, записуватися в пам'ять і можуть бути передані на зовнішній накопичувач інформації, що підключається до приладу. Узагальнена структурна схема таких електронних тахеометрів показана на рис.3.10.

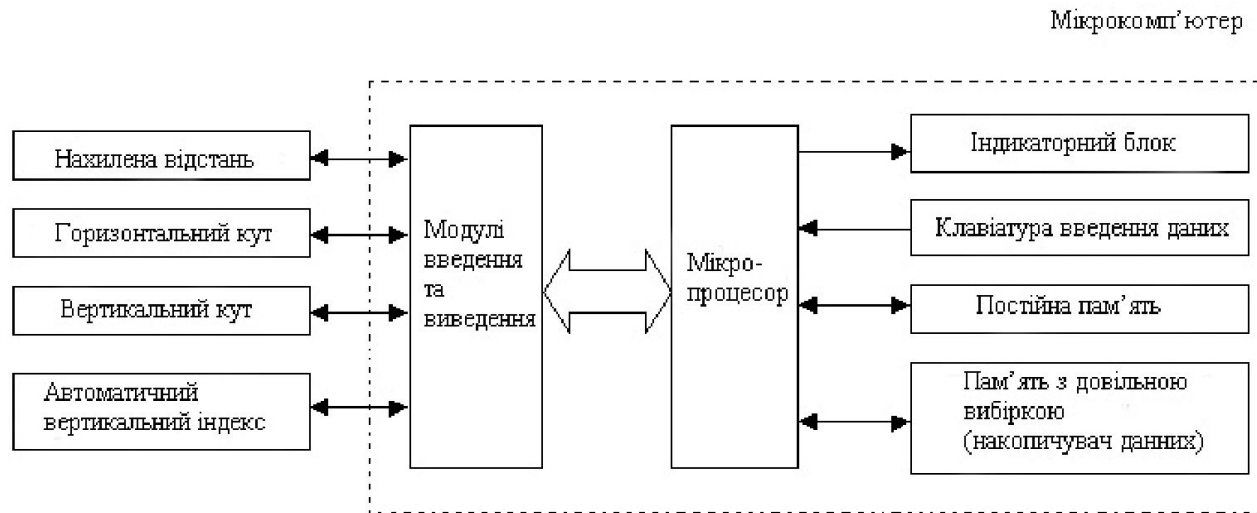


Рис. 3.10. Узагаль

В сучасних електронних тахеометрах табло індикаторного блоку є багатofункціональним цифровим дисплеєм на декілька рядків, на якому може відображатися різна додаткова інформація.

Зовнішній польовий накопичувач інформації, що підключається до приладу, який називають також *пристроєм збору і реєстрації даних (останнім часом увійшов до побуту термін «електронний польовий журнал»)* є хранителем отриманої в полі інформації, яка може бути передана для подальшої обробки в камеральний обчислювальний центр.

Таким чином, електронні тахеометри дають можливість створювати системи повністю автоматизованого картографування, ланками якої є: електронний тахеометр – стаціонарний комп'ютер – графічний пристрій.

Деякі моделі сучасних електронних тахеометрів показано на рис. 3.11.



Рис. 3.11. Деякі сучасні електронні тахеометри.

Узагальнюючі різноманітність фірм та моделей електронних тахеометрів можна зробити такі висновки і рекомендації:

1. Електронні тахеометри які сьогодні продукують приладобудівні фірми: Trimble, Leica Geosystems, Sokkia, Topcon, South, Pentax, Nikon, Spectra Presicion та інші забезпечують найрізноманітніші вимоги користувачів щодо точності, швидкодії, можливостей програмного забезпечення, рівня автоматизації.
2. Доцільно класифікувати електронні тахеометри на групи : прицеційні, точні, рутинні, універсальні, враховуючи точність кутових та лінійних вимірювань, і технічні можливості самих приладів, в залежності від яких, електронні тахеометри можуть бути використані для різноманітних цілей, таких як: в метрології, для високоточних інженерно – геодезичних робіт, для кадастрових, топографічних та розмічувальних робіт, у будівництві, тощо.
3. Велике зацікавлення у фахівців користуються електронні тахеометри, що забезпечують досить високу точність вимірювання кутів та ліній. На нашу думку, до таких можна віднести прилади фірми Leica Geosystem, Nikon, Topcon та Trimble. Крім цього велике зацікавлення становлять електронні тахеометри, що можуть працювати без відбивача на великих відстанях(Leica Geosystem, Topcon), а також інтегровані з GPS – системи.(фірма Leica Geosystem).
4. Серед електронних тахеометрів представлених для порівняння, більше переваг мають прилади фірми Leica Geosystems, яка є світовим лідером у розробленні та інтеграції геодезичного обладнання для створення високоточних та надійних систем автоматизованого моніторингу інженерних споруд, та інших об'єктів. Важливим аргументом, цієї фірми, є пріоритет на якість та надійність роботи електронних тахеометрів, про що свідчить впровадження у виробництво ET Leica 1200+ та ET Leica SmartStation 1201+,1202+,1203+1205+, з інтегрованим GPS – приймачем.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ:

1. *Що являє собою електронний тахеометр?*
2. *Які існують типи електронних тахеометрів?*
3. *Що представляє собою кутомірна частина тахеометру?*
4. *Які функції виконує мікропроцесор?*
5. *Що являє собою сучасні електронні тахеометри?*
6. *Які дії можна виконувати за допомогою електронних тахеометрів?*

3. Електронні нівеліри.

Електронний (цифровий) нівелір – це сучасний багатофункціональний геодезичний прилад, що поєднують функції високоточного оптичного нівеліра, електронного пристрою, що запам'ятовує, і вбудованого програмного забезпечення для обробки отриманих вимірів.

Основна відмінна особливість цифрових нівелірів - це вбудований електронний пристрій для зняття відліку по спеціальній рейці з високою точністю. Використання цифрових нівелірів дозволяє виключити особисті помилки виконавця і прискорити процес виміру. Цифрові технології дозволяють значно розширити можливості нівелірів і сфери їх застосування. Крім високої точності показань цифрового нівеліра, він також дає можливість виключити помилки людського фактора як такого. Крім уникнення людських помилок у вимірах, цифрові нівеліри здатні прискорити сам процес вимірювань, що сприяє чималому економії часу. Для того, щоб прилад виконав необхідний вимір, достатньо направити прилад на рейку, добре сфокусувати зображення і натиснути на пускову кнопку. Буквально за лічені частки секунди нівелір відобразить результат на екрані, а саме отримане значення і відстань від рейки до приладу.

З кожним роком цифрові нівеліри вдосконалюються, а професіонали додають все нові функції. Детальна розробка нівеліра дозволяє йому давати більш точні результати вимірювань. У результаті багатьох досліджень цього приладу росте не тільки попит на нього, а й сфера його застосування, оскільки на даний момент такого роду устаткування затребуване не тільки при будівельних і монтажних роботах, але також і в прикладній геодезії і вишукувальних роботах. Його популярність в широких масах і поширеному використанні можна також пояснити простотою і доступністю. Хоч для користування цим приладом і потрібні певні навички і знання, але надприродних умінь він не вимагає.

Цифрові (електронні) нівеліри є новим поколінням приладів для визначення висот точок. Наявність у конструкції приладів електронних давачів дає змогу в автоматичному режимі відлічувати рейки зі штриховим кодом, контролювати результати вимірювань, опрацювати їх вмонтованою у прилад ЕОМ і зберігати у накопичувані.

Для автоматичного відлічування штрих кодової рейки достатньо його тридцятисамнтиметрового відрізка - *по 15 см* догори і донизу від лінії візування. На одне вимірювання витрачають *від трьох до дев'яти секунд*. Багаторазові вимірювання осереднюються автоматично. ***Цифровими нівелірами вимірюють перевищення і довжини плечей нівелювання.*** Програмне забезпечення цифрових нівелірів дає змогу одразу після наведення приладу на рейки одержати перевищення та відмітки точок нівелювання.

Повторні вимірювання практично виключаються внаслідок автоматичного визначення похибок і введення поправок. Програмним забезпеченням деяких сучасних цифрових нівелірів передбачено врівноваження вимірювань. Загалом цифрові нівеліри дають можливість повернутися до перерваних вимірювань. Панелі керування приладів слугують також для алфавітно-цифрового введення номерів та кодів точок і різновидів додаткової інформації. Результати вимірювань та їхнього опрацювання можуть бути занесені до карт пам'яті або до внутрішньої пам'яті приладу. Цифрові нівеліри зазвичай споряджені компенсаторами нахилу.

Разом із автоматичним режимом цифровими нівелірами можна виконувати візуальне нівелювання як оптичними нівелірами, застосовуючи рейки із традиційними шкалами, звичайно, з меншою точністю. Вважають, що використання цифрових нівелірів підвищує продуктивність виконуваних робіт на 50%. За мінімального часу одного вимірювання ємності батарей деяких нівелірів може вистачити на три дні.

Цифрові нівеліри виготовляють провідні фірми світу Trimble-Zeiss – DiNi 10, DiNi 11, DiNi 11T, DiNi 12, DiNi 12T, DiNi 20, DiNi 21, DiNi 22; Leica – NA 2002, NA 3003; DNA 10, DNA03; Sprinter 100 (100 M); Sprinter 200 (100 M); Sokkia -SDL 30 та інші.

За точністю цифрові нівеліри можна характеризувати як *високоточні та точні*.

У табл. 3.1 наведено деякі технічні дані *високоточних* цифрових нівелірів DiNi 12 і DNA 03.

Технічна характеристика високоточних цифрових нівелірів DiNi 12 і DNA 03.

Таблиця 3.1

	DiNi 12	DNA 03
1	2	3
Середня квадратична похибка визначення перевищення на 1 км подвійного ходу, мм		
Електронні вимірювання:		
відлічуванням інварної кодової рейки	0,3	0,3
відлічуванням складаної кодової рейки	1,0	1,0
Візуальне відлічування складаної рейки	1,5	2,0
Віддаль нівелювання, м:		
Електронні вимірювання:		
інварна кодова рейка	1,5...100	1,8...110
складана кодова рейка	1,5...100	1,8...110
візуальне відлічування	від 1,3	від 0,6
Точність вимірювання віддалей:		
довжин плечей нівелювання, мм:		
інварна кодова рейка	20	3...5 мм на 10 м
складана кодова рейка	20	
Точність відлічування електронного вимірювання, мм:		
перевищень	0,01	0,01
довжин плечей нівелювання	1,0	1,0

1	2	3
Час електронного відлічування рейки, с	3	3
Збільшення зорової труби, крат	32 ^x	24 ^x
Світловий діаметр об'єктива, мм	40	36
Поле зору на 100 м (кут поля зору), м	2,2	3,5
Діапазон дії компенсатора	15'	10'
Похибка приведення лінії візування у горизонтальний стан	0,2''	0,2''
Ціна поділки встановивного (сферичного) рівня	10'	8'
Горизонтальний круг:		
ціна поділки	1 гон/1 ⁰	1 гон/1 ⁰
точність відлічування	0,1 гон/0,1 ⁰	0,1 гон/0,1 ⁰
Маса, кг	2,8	2,5

Очевидно, що сучасні високоточні цифрові нівеліри різних фірм, наприклад, DiNi 12 (рис. 3.11) і DNA03 (рис. 3.12) за своїми технічними можливостями незначно поступаються один одному.



Рис. 3.11. Високоточний нівелір DiNi 12



Рис. 3.12. Високоточний нівелір DNA 03.

Нівелір DiNi 12 є дещо модифікованою моделлю нівеліра DiNi 10 (DiNi 11) і практично збігається з ними за технічними даними.

Оптично-механічну схему електронного нівеліра DiNi 10 наведено на рис. 3.13.

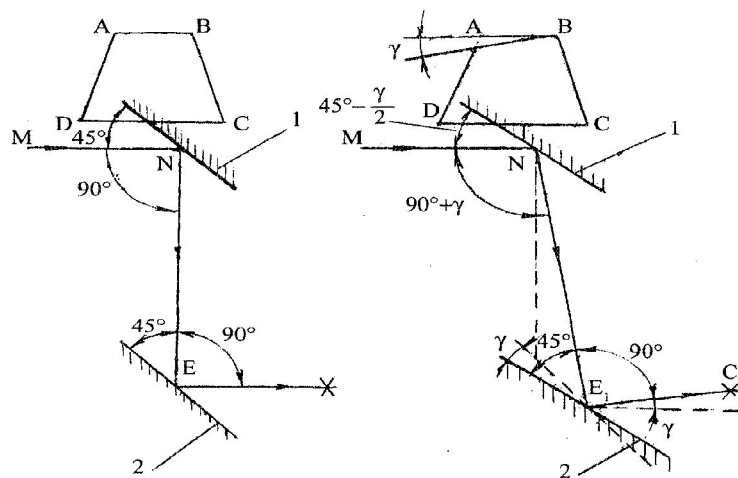


Рис. 3.13. Оптично-механічну схему електронного нівеліра.

Високоточні цифрові нівеліри (DiNi 12 (DiNi 10, DiNi 11) і DNA 03) слугують для нівелювання I і II класу, а також для *прецизійних інженерно-геодезичних вимірювань*.

Крім стандартних для цифрових нівелірів режимів роботи програмне забезпечення нівелірів DiNi 12 і DiNi 12T передбачає можливість *зрівноваження результатів вимірювань*.

Нівелір **DiNi 12T (DiNi IT)** від цифрових нівелірів такого самого класу відрізняється тим, що ним *можна визначати координати точок нівелювання*, тобто працювати у *режимі тахеометра*. Коли DiNi 12T працює як *тахеометр*, точність вимірювання ним віддалей у разі застосування *інварної кодової рейки* становить *0,5Dx0,01 м*, а складаної кодової - *1,0Dx0,01 м* (D-віддаль від нівеліра до рейки). Час фіксування кутового вимірювання - **0,3 секунди**.

Відмінною рисою приладів **DiNi 10, DiNi 11, DiNi 11T, DiNi 12 і DiNi 12T** є можливість запису результатів вимірювань та опрацювання їх у карти пам'яті PCMCIA ємністю від **256 KB до 8MB**.

Технічна характеристика цифрових нівелірів DiNi 22, DNA 10 та SDL 30 показано в таблиці 2.

1	DiNi 22	DNA 10	SDL 30
	2	3	4
Середня квадратична похибка визначення перевищення на 1 км подвійного ходу, мм			
Електронні вимірювання:			
відлічуванням інварної кодової рейки	0,7	0,9	
відлічуванням фібергласової кодової рейки			1,0
відлічуванням складаної кодової рейки	1,3	1,5	
Візуальне відлічування складаної рейки	2,0	2,0	1,0
Віддаль нівелювання, м:			
інварна кодова рейка	1,5...100	1,8...110	
фібергласова кодова рейка			1,6...100
складана кодова рейка	1,5...100	1,8...110	
Візуальне відлічування, м	від 1,3	від 0,6	від 1,5
Точність вимірювання віддалей:			
довжин течей нівелювання, мм:			
інварна кодова рейка	25	3...5 мм на 10 м	
фібергласова кодова рейка			До 10 м 10 мм 10...50 м 1% D > 50 м 0,2% D

1	2	3	4
складана кодова рейка	30		
Точність відлічування електронного вимірювання, мм:			
перевищень	0,1	0,1	0,1
довжин плечей нівелювання	1,0	1,0	1,0
Час електронного відлічування рейки, с	2	3	3
Збільшення зорової труби, крат	26 ^x	24 ^x	32 ^x
Світловий діаметр об'єктива, мм	40	36	45
Поле зору на 100 м (кут поля зору), м	2,2	3,5	1°20'
Діапазон дії компенсатора	15'	10'	15'
Похибка приведення лінії візування у горизонтальний стан	0,5"	0,8"	0,5"
Ціна поділки встановіного (сферичного) рівня	10'	8'	10'
Горизонтальний круг:			
ціна поділки	1 гон/1°	1 гон/1°	1°
точність відлічування	0,1 гон/0,1°	0,1 гон/0,1°	0,1°
Маса, кг	2,8	2,5	2,4

Цифрові нівеліри DiNi 20, DiNi 22, SDL - 30 за стандартами оптичних нівелірів можна характеризувати як *точні*.

Названі *точними цифрові* нівеліри, як і *високоточні*, за основними показниками неістотно відрізняються один від одного. Проте, звичайно, кожна з моделей має певні відмінності. Зокрема, в DiNi 22 є можливість записування даних у внутрішню пам'ять приладу, що має ємність у 2200 рядків і якої достатньо для розв'язування різноманітних задач.

нівеліри **SDL1X**, **SDL30**, **SDL50** (рис. 3.14), які також має внутрішню пам'ять, обладнано фібергласовою рейкою, що відчутно не позначилося на точності вимірювань.



Рис. 3.14. Цифровий нівелір SDL1X, SDL 30, SDL50 .

За рекомендаціями фірми-виробника надійність та точність вимірювань не погіршується за несприятливих умов нівелювання, а саме: нерівномірного освітлення; руху шарів повітря; вібрації. Компенсатор нівеліра, який має магнітний демпфер, стійкий до ударів. Нівелір виконано у вологоводостійкому варіанті. Програмне забезпечення нівеліра SDL 30 здебільшого збігається із забезпеченням двох згаданих поряд з ним моделей.

Лазерні нівеліри. Властивості лазерних випромінювачів, які застосовуються у *лазерних геодезичних приладах*, і, зокрема у нівелірах, описані вище.

Деяко умовно можна розрізнити *чотири види лазерних нівелірів*.

Перший з них - це власне традиційні оптичні нівеліри з лазерними насадками.

У другому виді лазер і зорова труба розташовані в одному корпусі. Вісь лазерного випромінювання паралельна до візирної осі зорової труби, але не суміщена з нею. *Паралельне* розташування візирної осі та осі лазерного випромінювання *є істотним недоліком конструкції лазерного нівеліра цього виду*. Паралельність двох згаданих осей доводиться контролювати під час вимірювань і вводити поправки у їхні результати. Це є додатковим джерелом похибок.

У третьому виді приладів - колімаційного типу цей основний недолік попереднього виду подолано. На рис. 3.15 подано принципову схему **лазерного нівеліра колімаційного типу**.

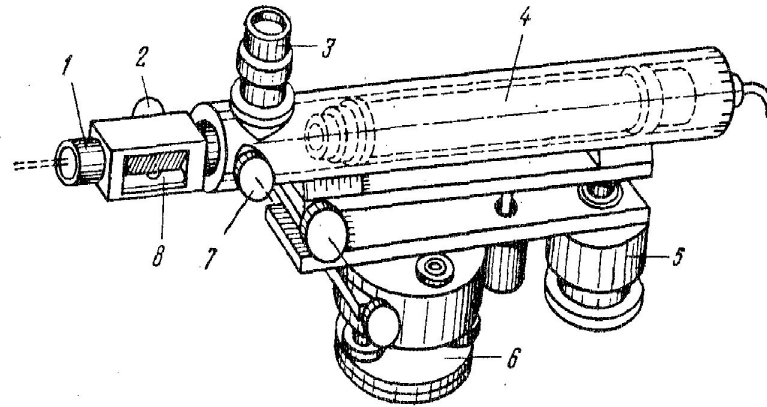


Рис. 3.15. Принципова схема лазерного нівеліра колімаційного типу: 1 - об'єktiv коліматора; 2 - гвинт фокусувального пристрою; 3 - окуляр; 4 - лазер; 5 - елеваційний пристрій; 6 - підставка з підіймальними гвинтами; 7-гвинт пристрою відхилення променя; 8 - циліндричний рівень.

Для наведення приладу на візирну ціль в оптичний канал гвинтом 7 вводять пристрій відхилення променя, який передає зображення цілі у поле зору окуляра. Після наведення на ціль пристрій відхилення променя виводять з оптичного каналу і промінь лазера скеровується об'єktivом 1 на візирну ціль. Для виведення лазера у горизонтальний стан слугує рівень 8. Прилад з достатньою мобільністю задає як візуальний, так і лазерний опорний промінь. Для скерування променя лазера у різних напрямках його устатковують різноманітними насадками.

Для інженерно-геодезичних вимірювань, зокрема у будівництві, широко застосовують лазерні нівеліри, в яких **дзеркальні або нуризмові сканувальні системи** розгортають лазерний промінь у площину. Часто для цього використовують **пентапризму**, що обертається. Спроби створити багатофункціональний прилад, яким одночасно можна контролювати прямолінійність, а також відхилення від площини та прямовисності, привели до появи приладу ЛАГ (СРСР), принципову схему якого подано на рис. 3.16.

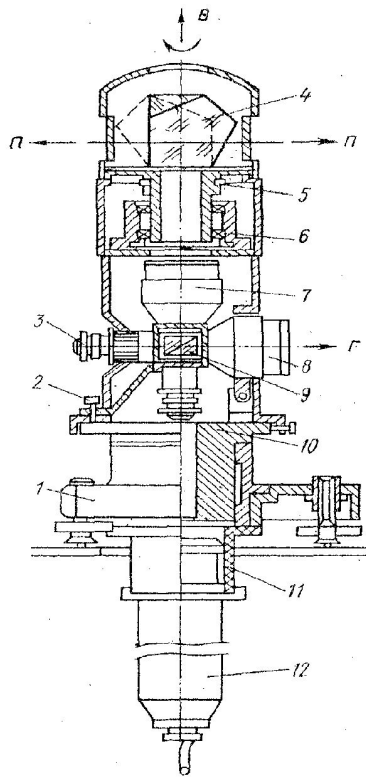


Рис. 3.16. Принципова схема багатофункціонального лазерного пристрою типу ЛАГ: 1 - підставка; 2 - елевційний гвинт; 3 - окуляр; 4 - оптична система розгортки лазерного променя у площину; 5 - гнучкий привід; 6 - осьова система; 7 - вертикальна оптична система (зорова труба), що скерує випромінювання лазера до системи розгортки; 8 - горизонтальна оптична система (зорова труба), що формує горизонтальний промінь; 9 - світлорозподільний елемент; 10-вертикальна осьова система; 11 -перехідник; 12-лазер

Блок-схема його містить лазерний випромінювач, оптичну систему, пристрій розгортай лазерного променя у площину та візуальний або фотоелектричний реєструвальний пристрій. Горизонтальну площину "П" створює пентапризму 4, що обертається у осьовій системі 6 гнучким приводом 5 від електродвигуна постійного струму. До верхньої відбивної грані пентапризми, що зроблена напівпрозорою, проклеєно оптичний клин так, що разом з пентапризмою вони утворюють плоско-паралельну платівку.

Лазерний промінь, пройшовши вертикальну оптичну систему 7 із світлорозподільним елементом 9, доходить до напівпрозорої грані пентапризми 4. Частина променя, що відбилася цією гранню, утворює лазерну площину пентапризмою, що обертається. Частина променя, що проходить пентапризму з клином як плоскопаралельну платівку, поширюється у напрямку "В" вертикально (прямовисно) вгору.

Частина лазерного променя, проходячи світлорозподільний елемент 9, відбивається ним і горизонтальною оптичною системою 8, як пряма лінія скеровується у горизонтальному напрямку "Г".

Загальний окуляр 3 дає змогу розглядати слід опорної горизонтальної лінії "Г", слід лазерної площини "П" та слід вертикально спрямованого променя. Горизонтальний промінь та площину, у яку розгорнуто лазерний промінь, приводять у горизонтальний стан за допомогою двох контактних циліндричних рівнів, що розташовані перпендикулярно один до одного. Пристрій юстують, переміщуючи світлорозподільний елемент 9, а також елеваційним гвинтом 2.

Лазерні нівеліри, що будують *горизонтальні площини*, випускають численні фірми, а саме: *Trimble-Zeiss, YOM3, Sokkia та інші.* Дві перші із згаданих фірм називають їх *лазерними нівелірами*, наприклад, деякі з них IH52XL (Spectra), Plus (Spectra), НЛ-20К НЛ30. Фірма Sokkia випускає їх під назвою *лазерних побудовувачів площин*, наприклад, LP 30, LP 31 або *горизонтальними чи вертикально-горизонтальними планувальниками* такими, наприклад, як А 410 R, LV--205, EAGL-2EL та інші.

Лазерний нівелір-автомат НЛ-20К (рис. 3.17) створює видиму горизонтальну площину розгорнутим лазерним променем і *застосовується у будівництві; для розмічування ділянок; встановлення обладнання; під час виконання вишукувань та у землевпорядкуванні.*

Лазерний нівелір-автомат НЛ-20К (рис. 3.17) створює видиму горизонтальну площину розгорнутим лазерним променем і застосовується у будівництві; для розмічування ділянок; встановлення обладнання; під час виконання вишукувань та у землевпорядкуванні.



Рис. 3.17. Лазерний нівелір НЛ-20К



Рис. 3.18. Будівельний лазерний нівелір НЛЗО

Будівельний лазерний нівелір НЛ30 (рис. 3.18) формує лазерний промінь у двох взаємно перпендикулярних напрямках або будує дві видимі площини: *горизонтальну і вертикальну*. Положення лазерного променя або лазерних площин може фіксуватися на спеціальній рейці або фотоелектричними пристроями-детекторами.

Деякі технічні дані лазерних нівелірів НЛ-20К і НЛ30 подано у табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Технічна характеристика лазерних нівелірів НЛ-20К і НЛ30.

	НЛ-20К	НЛ30
Точність	20'' (+2 мм на 20 м)	30'' (+2 мм на 15 м)
Діаметр лазерної плями на виході, мм	5	5
Джерело випромінювання – діодний лазер	650 Нм	650 Нм
Потужність випромінювання, мВт	2,0	2,0
Гранична віддаль дії, м:		
з приймачем	80	100
без приймача	30	30
Швидкість обертання пристрою розгортки лазерної площини, об/хв	0...350	0...350
Джерело живлення (акумуляторна батарея)	Вмонтована, 4,5 В	Знімна, 4,5 В
Тривалість дії, год	20	20
Діапазон робочих температур	– 20...+50 ⁰ С	– 20...+50 ⁰ С
Маса, кг	1,3	1,5

Фірма Sokkia характеризує LP 30 і LP 31, як такі, що задовольняють вимоги широкого спектра нівелювання у промисловому та цивільному будівництві, а також використовуються під час внутрішніх опоряджувальних робіт. Застосування у комплекті з приладами приймального давача LR100 істотно підвищує ефективність нівелювання. LP 30 і LP 31 мають високий ступінь вологоводозахисту, обладнані компенсатором маятникового типу з повітряним демпфером, який забезпечує стабільне положення лазерного випромінювання у вібронебезпечних місцях встановлення приладу.

Деякі технічні дані LP 30 і LP 31 подано у табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Технічна характеристика лазерних нівелювачів площини LP 30 і LP 31

		LP 30	LP 31
Точність		10''±1,5 мм на 30 м	15''±2,25 мм на 30 м
Діаметр лазерної плями		15 мм (на максимальній віддалі)	
Джерело випромінювання		Діодний лазер 785 НМ	
Гранична віддаль дії, м	радіус	300	120
	діаметр	600	240
Швидкість обертання пристрою розгортки лазерної площини об./хв		600	
Межі дії компенсатора		±10'	
Джерело живлення		Акумулятор Ni-Cd	
Тривалість дії, год		20	17
Діапазон робочих температур		-10...+50 ⁰ С	
Маса, кг		2,5	

Технічні характеристики лазерних нівелірів інших фірм відрізняються від наведених граничною віддаллю дії або точністю

4. Лазерні рулетки.

Лазерний далекомір (рулетка)- це оптико-електронний пристрій для визначення дальності до будь-якої точки або об'єкта на місцевості. Багато хто до цих пір називає лазерний далекомір рулетка, тому що цей сучасний інструмент для обчислення відстаней практично повністю замінив геодезістам і будівельникам традиційну механічну рулетку, і це цілком зрозуміло, адже лазерна рулетка має масу переваг перед своїми традиційними аналогами.

Лазерні далекоміри - це надійні прилади, призначені для виміру відстаней одним виконавцем без використання відбивача, що істотно скорочує терміни і знижує вартість робіт. Значно покращується безпека проведення робіт, особливо на жвавих транспортних магістралях, виробничих приміщеннях, будівельних майданчиках. Управління далекомірами здійснюється всього декількома клавішами і не вимагає спеціального навчання.

У активному ритмі сучасного життя лазерні вимірювальні інструменти є невід'ємним атрибутом багатьох сфер діяльності. Лазерні вимірювальні інструменти застосовуються в найрізноманітніших технологічних та виробничих процесах. Вимірювальні прилади та інструменти сьогодні дозволяють зробити будь-яке вимірювання досить швидко. Але тільки точний лазерний вимірювальний інструмент дозволить зробити це в лічені хвилини, зводячи вірогідність помилок при цьому практично до нуля.

Лазери та засновані на них лазерні вимірювальні інструменти знайшли широке застосування в різних галузях науки. Застосування лазерної вимірювальної техніки в геодезії стало останнім кроком на шляху проникнення лазерів в будівництво. Приклад лазерної рулетки показано на рис.3.18.



Рис. 3.18. Далекомір лазерний BOSCH GLM 150VF

Завдяки оптичній системі лазерний промінь лазерного вимірювального інструментом може бути ущільнений, розщеплений на декілька променів; при цьому кожен з них спрямований у визначену, відмінну від інших, сторону. *Таким чином, лазер може формувати одночасно декілька скоординованих точок, ліній, а також пробігати усі чотири сторони прямокутника.*

Відносно новим напрямом в області конструкції будівельних(геодезичних) лазерних вимірювальних інструментів є *ротаційні лазери*. Їх можна умовно розділити на **4 підгрупи**:

1. Лазери, в яких вирівнювання лазера здійснюється вручну.
2. Лазери з напівавтоматичним вирівнюванням.
3. Лазери з компенсаційним вирівнюванням,
4. З сервомеханізмом для вирівнювання лазера.

Лазерні рулетки є малогабаритним технічним пристроєм, оснащеним ЖК- дисплеєм, клавіатурою, обчислювальним пристроєм та лазером. Лазерні вимірювальні інструменти як рулетки здатні вимірювати відстані **від 0,2 до 200 метрів**.

Лазерні вимірювальні інструменти такі, як рулетки прискорюють, спрощують та автоматизують, будівельних та геодезичних робіт. Ці рулетки дозволяють здійснювати виміри за лічені секунди шляхом простих натиснень на кнопки приладу.

Вбудований інтерфейс лазерного вимірювального інструменту полегшує прочитування отриманих даних, а автоматичний режим роботи приладу зводить ризик невірних вимірів до нуля. Лазерні рулетки використовуються не лише в будівельній сфері, але і в навігації та при виконанні топографічних зйомок. Лазерні рулетки з внутрішньою пам'яттю, призначені для професійного використання, дозволяють зберігати результати вимірів, а найсучасніші моделі лазерного вимірювального інструменту можна під'єднувати до комп'ютера.

Лазерні рулетки придатні для використання в несприятливих погодних умовах та при коливанні температур в досить широкому діапазоні. Лазерний вимірювальний інструмент живиться від батарейок, які забезпечують **виконання до 5-10 тис. вимірів**. Лазерними рулетками можна користуватися і в умовах недостатньої освітленості, оскільки у більшості моделей є підсвічування дисплея.

Лазерний далекомір-рулетка - компактний прилад. Він простий у використанні; корпус у таких приладах, як правило, протиударний, пилю – і вологозахисний, розрахований на роботу на відкритому повітрі, або в умовах будівництва та інших геодезичних роботах.

Прилад може оснащуватися великою кількістю додаткових аксесуарів і приладдя, таких, як алюмінієві штативи, відбивачі, інтерфейсні кабелі, оптичні візери і т.д. Максимальна дальність визначення відстані індивідуальна для кожної моделі лазерного далекоміра.

Лазерний далекомір – як прилад для вимірювання відстаней, *широко застосовується в інженерній геодезії (при будівництві шляхів сполучення, гідротехнічних споруд, ліній електропередач і т. д.), при топографічній зйомці, у військовій справі (головним чином для визначення відстаней до цілей), в навігації, в астрономічних дослідженнях, у фотографії.*

Лазерні далекоміри засновані на вимірі часу проходження хвиль відповідного діапазону від далекоміра до другого кінця вимірюваної лінії й назад.

Здатність електромагнітного випромінювання поширюватися з постійної швидкістю дає можливість визначати дальність до об'єкта. Так, при імпульсному методі дальнометрирования використовується наступне співвідношення:

$$L = ct / 2n,$$

де **L** - відстань до об'єкта, **c** – швидкість світла у вакуумі, **n** – показник заломлення середовища, в якому поширюється випромінювання, **t** – час проходження імпульсу до цілі і назад.

Розгляд цього співвідношення показує, що потенційна точність виміру дальності визначається точністю вимірювання часу проходження імпульсу енергії до об'єкта і назад. Ясно, що чим коротше імпульс, тим краще.



Рис.3.19.

Завдання визначення відстані між далекоміром і цілю зводиться до вимірювання відповідного інтервалу часу між зондувальним сигналом і сигналом, відбитим від цілі. Розрізняють три методи вимірювання дальності в залежності від того, якого характеру модуляції лазерного випромінювання використовується в далекомірі: *імпульсний, фазовий чи фазо-імпульсний.*

Сутність *імпульсного методу* дальнометрирования полягає в тому, що до об'єкту посилають зондуєчий імпульс, він же запускає тимчасовий лічильник в далекомірі. Коли відбитий об'єктом імпульс приходить до далекоміру, то він зупиняє роботу лічильника. За часового інтервалу (затримці відображеного імпульсу) *визначається відстань до об'єкта.*

При *фазовому методі* дальнометрирования лазерне випромінювання *модулюється за синусоїдальним законом з допомогою модулятора* (електрооптичного кристала, що змінює свої параметри під впливом електричного сигналу). Зазвичай використовують синусоїдальний сигнал з частотою **10 ... 150 МГц** (вимірювальна частота). Відбите випромінювання потрапляє в приймальну оптику і фотоприймач, де виділяється модулюючий сигнал. В залежності від дальності до об'єкта змінюється фаза відбитого сигналу щодо фази сигналу в модуляторі. *Вимірюючи різницю фаз, визначають відстань до об'єкта.*

Портативні лазерні далекоміри були розроблені для піхотних підрозділів і передових артилерійських спостерігачів. Один з таких далекомірів виконаний у вигляді бінокля. Джерело випромінювання та приймач змонтовані в загальному корпусі з Монокулярний оптичним візиром шестиразового збільшення, в поле зору якого є світлове табло з світлодіодів, добре помітних як уночі, так і вдень. У лазері в якості джерела випромінювання використовується алюмінієво-ітрієво гранат, з модулятором добротності на ніобіті літію. Це забезпечує пікову потужність в 1.5 МВт. У приймальні частини використовується здвоєний лавинний фотодетектор з широкосмуговим малошумливим підсилювачем, що дозволяє детектувати короткі імпульси з малою потужністю. Помилкові сигнали, відбиті від навколишніх предметів виключаються з допомогою схеми стробування по дальності. Джерело живлення - малогабаритна акумуляторна батарея, що забезпечує 250 вимірів без підзарядки. Електронні блоки далекоміра виконані на інтегральних схемах, що дозволило довести масу далекоміра разом з джерелом живлення до 2кг.

Наступний етап військового застосування лазерних далекомірів - їх інтеграція з індивідуальним стрілецькою зброєю піхотинця. Прикладів може служити штурмова гвинтівка F2000 (Бельгія). Замість прицілу на F2000 може встановлюватися спеціальний модуль управління вогнем, що включає в себе лазерний далекомір і балістичний обчислювач. Грунтуючись на даних про дальності до мети, обчислювач виставляє прицільну марку прицілу як для стрільби з самого автомата, так і з підствольного гранатомета (якщо він встановлений).

Вперше на Заході лазерні далекоміри потрапили у вільний продаж в 1992 р. Тоді фірма Leica, а потім Swarovski випустили перші далекоміри з безпечним лазером. Трохи пізніше Swarovski запропонувала модель далекоміра, інтегровану в оптичний приціл. Однак вартість цих приладів (кілька тисяч доларів) була дуже висока, і реально доступні для широкого споживача лазерні далекоміри стали з 1996 р., коли фірма Bushnell запропонувала відносно недорогі прилади. З тих пір деякі інші фірми також почали активно працювати в цьому ж напрямі - серед них можна відзначити Nikon (Японія) і Newcon (Канада). Але все-таки на сьогоднішній момент, за даними зарубіжній пресі, тільки фірмі Bushnell вдалося захопити лідируючі позиції - їй належить до 95% цього ринку в США, при цьому в модельному ряду Bushnell п'ять базових моделей, Nikon - дві, Newcon - дві, Leica - дві. Bushnell, Newcon і Leica мають у своєму арсеналі по одній моделі виконаної у вигляді біноклів, весь інший асортимент - це монокуляри, прилади з одним оптичним каналом.

В СРСР (а потім в Росії) таке обладнання було доступно тільки військовим, причому військові моделі використовують потужні лазери, які при попаданні в очі найчастіше призводять до втрати зору і тому ні за яких обставин не можуть бути випущені на споживацький ринок. В останні роки багато торгові фірми стали завозити прилади для цивільного використання, благо попит на них став досить великий. На жаль, вітчизняна промисловість не в змозі поки запропонувати конкурентоздатні далекоміри цивільного призначення та вибір складається тільки з приладів зарубіжних фірм. Ми вибрали найбільш популярні моделі лазерних далекомірів - монокуляри та провели тест їх споживчих властивостей - адже не кожен може дозволити собі купити кілька приладів ціною по 300-500 доларів. Отже, коротко опишемо "учасників" нашого тесту. Це найбільш потужні моделі з номінальною максимальною дальністю від 800 до 1500 м. Крім "ветеранів" Bushnell і Nikon, ми взяли дві новинки - поки маловідомий у нас канадський Newcon і продукт легендарної Leica.

Всі прилади мають службову індикацію, відображаючи на окулярі. Це дозволяє без відриву далекоміра від очей отримати інформацію про дальність до цілі. Найбільш лаконічно підійшли до цієї теми німці: Leica відображає тільки дальність до цілі і "прицільну" мітку. Більше нічого. Навіть при виснаженні батарей не з'являється ніякого нового значка, просто цифри і мітка починають мигати. Самі мітки і цифри червоного кольору, з автоматично регулює яскравість підсвічування. Як ми переконалися, Leica - це єдиний з представлених на тест приладів, зручний для використання при слабкому освітленні. Червона мітка зручно наводиться і фіксується на цілі, а для перегляду результату не потрібно шукати світлого фону, щоб розгледіти цифри. У далекоміри Nikon присутні кілька елементів індикації. Мітка темно-синього кольору являє собою дві горизонтальні і дві вертикальні лінії, не доведені до перетину один з одним. Лінії досить товсті, мабуть, тому їх не стали замикаєти, щоб не перекривати мета. Крім мітки, відображається стан зарядки батарей (у вигляді піктограми), дальність до цілі, поточний режим. Прилад від фірми Bushnell має мітку у вигляді квадрата з розбіжними від його сторін ризиками, на дисплей виведено режими роботи далекоміра, індикація одиниць вимірювання та індикація роботи лазера. Крім того, при роботі далекоміра вказується якість прийому сигналу у вигляді полоси. На Newcon прицільна мітка може вибиратися: або хрест, або квадрат. Крім того, відображається режим роботи у вигляді блискавки в лівому верхньому куті, стан батарей і індикація одиниць вимірювання. Якість сигналу показується у вигляді написів: "високе", "середнє", "низьке". (HIGH, MED, LOW).

Граничні дистанції роботи далекомірів, заявлені виробниками, носять умовний характер. Можна виділити дві групи факторів, що впливають на роботу далекоміра: "якість" цілі і зовнішні атмосферні умови. Найбільшої результативності лазерний далекомір домагається по цілям, що володіє максимальним відбиваючим ефектом. Тобто ідеальним об'єктом для лазерного променя буде дзеркало великого розміру, розташоване під кутом 90 градусів до його площини, а найгіршим - маленький тенісний м'яч, пофарбований в матовий чорний колір. Інша група факторів - зовнішні. Перш за все, це освітлення. У сонячну погоду ефективність роботи лазера знижується, а в темряві збільшується. Атмосферні перешкоди у вигляді дощу або снігу, розташовані в напрямку мети чагарники або дерева також призводять до спотворення результатів. У ряді приладів передбачений режим "дощ" дозволяє ігнорувати такі "помилкові цілі". Ну і, нарешті, робота далекоміра залежить від якості батарейок - на "посаджених" джерелах живлення лазер не зможе дати потрібний імпульс.

5. Напрями розвитку електронної тахеометрії.

До теперішнього часу існує дуже багато конкретних моделей електронних тахеометрів, що випускаються різними фірмами в різних країнах. Відмітимо, що в даній лекції навмисно не описуються які - небудь конкретні прилади, бо розвиток в цій області йде такими швидкими темпами, що щороку з'являються нові моделі. Велика увага надається гібридним (модульним) конструкціям, що допускають просту і легку збірку моделей з різними можливостями. Подібні системи володіють у відомому сенсі більшою гнучкістю, ніж нероз'ємні конструкції, дозволяючи з максимальною ефективністю використовувати геодезичні прилади, що випускаються фірмою, синтезуючи їх різним чином залежно від виду необхідних робіт. При цьому різноманітність теодолітів і віддалемірів часто поєднується з уніфікацією комп'ютерної техніки, коли фірма випускає універсальний пристрій збору і реєстрації даних (електронний польовий журнал, він же зовнішній накопичувач), який може працювати з широкою комбінацією вимірювальних приладів.

Жорстка конкуренція примушує західні фірми вести безперервне вдосконалення своїх моделей і розробку нових приладів. Приблизно однаковими залишаються такі характеристики, як дальність дії (до декількох кілометрів) і точність (типова точність лінійних вимірювань складає $5\text{ мм} + 5\text{ мм/км}$, кутових – в діапазоні від 10 до 1-2"), і основна увага розробників направлена на створення максимальних зручностей для споживача. Як приклад можна вказати, що перший прорив в цій області був здійснений в 1986 році шведською фірмою «Геотронікс» (Geotronics AB), що створила прилад «Геодіметр 400» і потім декілька подальших моделей (440, 460), які утворили нове покоління електронних тахеометрів.

В геодинетрах чотирьохсотї серії, окрім режиму «трекінга» (стеження за відбивачем, що рухається, коли беруться відліки через кожні 1-3 секунди), який вже використовується в інших приладах, були вперше застосовані наступні новинки:

1) система прецизійного електронного контролю процесу кутових вимірювань, що дозволяє працювати при одному крузі (положенні труби без перекладу через зеніт) без втрати точності. Ця система забезпечує:

- автоматичну корекцію колімаційної помилки і нахилу осі обертання труби;
- повне виключення вплив ексцентриситету і помилок розподілів шкали (лімба);
- автоматичну компенсацію порушень центрування інструменту в процесі роботи;

2) електронний рівень, що забезпечує автоматичну нівеляцію приладу без обертання його навкруги вертикальної осі;

3) багатфункціональний дисплей (на рідких кристалах), що має табло з чотирма строчками по 16 розрядів в кожній; на цьому дисплеї може відобразитися відразу велика кількість інформації;

4) «Юніком» – пристрій для одностороннього мовного зв'язку з реєчником по оптичному променю. На рейці з відбивачем змонтований фотоприймач; передача здійснюється шляхом модуляції голосом інфрачервоного променя, який служить джерелом випромінювання далекомірної частини приладу. Надалі оптичний зв'язок був замінений двостороннім радіозв'язком;

5) «Треклайт» – пристрій для «самонаведення» реєчника, який дозволяє йому швидко відшукати промінь від приладу і встановити в нього відбивач, змонтований на рейці. Пристрій є трибарвним джерелом видимого світла, випромінюючим біле, червоне і зелене світло; пучок білого світла знаходиться між червоним і зеленим і працює миготливими спалахами 2-3 рази в секунду. Якщо реєчник знаходиться в створі, він бачить біле світло, при відхиленні від створу вліво – зелене, а управо – червоне. На дистанції 100м ширина зони білого світла складає 25см, а червоного і зеленого – по 5м; відхилення пучка білого світла дорівнює відхиленню інфрачервоного випромінювання від основного джерела віддалеміра. Коли біле світло потрапляє на відбивач, частота спалахів білого світла подвоюється, сигналізуючи реєчнику про правильну установку відбивача.

Удосконалення, вказані в пунктах 1) і 2), були застосовані фірмою раніше в приладі Геодиметр 142, а Треклайт і Юніком були також розроблені раніше як окремі пристрої для використання з цілим рядом більш ранніх моделей. В геодиметрах чотирьохсотої серії всі ці досягнення зібрані воедино, а багатофункціональний дисплей застосований вперше.

В ті ж роки фірмою «Wild» (Швейцарія) на основі електронного теодоліта Теомат Т 2000 був розроблений електронний тахеометр Тахимат ТС 2000, що різко виділяється надзвичайно високою точністю кутових вимірювань (0,5"), а також підвищеною точністю лінійних вимірювань (2мм + 2 мм/км). Висока кутова точність досягнута застосуванням оригінальної динамічної системи оптико електронного сканування при прочитуванні з растрового круга. При кожному відліку використовується сканування по всьому кругу, що виключає помилки розподілів лімба, а прочитування діаметрально протилежних штрихів растру виключає помилку за ексцентриситет. Крім того, автоматично виключається колімаційна помилка горизонтального круга і автоматично коректується помилка індексу вертикального круга. Прилад повністю автоматизований і до нього може бути підключений зовнішній накопичувач інформації.

Подальші удосконалення електронних тахеометрів йшли по шляху комп'ютеризації, розширення можливостей вбудованих програм, використання сервоприводів, систем автоматичного наведення і стеження за ціллю і дистанційного керування роботою приладу. Це привело до створення в 90-х роках електронних тахеометрів, що отримали назву «роботизованих» (першість тут належить все тій же фірмі «Геотронікс» - одному з найбільших світових лідерів геотроніки).

До 1998 року чотири фірми – Geotronics AB (Швеція), Spectra Physics Laserplane Inc. (США), Plus 3 Software Inc. (США) і Quadriga GmbH (Німеччина) – об'єдналися в компанію під назвою Spectra Precision, модульну геодезичну систему нового покоління, що розробила, – інтегровану знімальну систему на основі геодиметра (Geodimeter Integrated Surveying System), поєднуючи в собі електронний тахеометр, супутниковий приймач і могутній польовий пен-комп'ютер (комп'ютер, в якому клавіатуру замінює «світлове перо», що дозволяє малювати і креслити від руки прямо на екрані; програмне забезпечення дозволяє потім перетворити таке накреслення «електронне крокі» в точний цифровий план місцевості).

В даний час електронні тахеометри є, разом з супутниковими приймачами, одним з основних засобів геодезичних вимірювань. На рис.3.20. приведено один із таких електронних тахеометрів.



Рис. 3.20. TPS-1200 з інтегрованим GPS- приймачем.

Область їх застосування вельми широка. Вони можуть вирішувати такі практичні задачі, як, наприклад, *винесення точок в натуру, вимірювання прольотів, розбиття за полярними координатами, визначення відстаней між точками по відношенню до початкової прямої, визначення висот неприступних точок, координатні задачі при вільному виборі точок стояння, визначення відхилень точок від заданих осей і ін.* При цьому найважливішу роль грає *відповідне програмне забезпечення електронного тахеометра.*

Особливим попитом електронні тахеометри користуються в інженерній геодезії. Наприклад, ЕТ фірми Leica (моделі Leica TCR 405power та Leica TCR802power). Вбудоване програмне забезпечення і набір прикладних програм дозволяє прискорити та полегшити роботу.

Програма “ Виносу відносно ліній та дуг ” дозволяє виконувати винос або перевірку положення точок відносно заданих ліній та дуг. Елементи точки, що виносяться обчислюється за допомогою перпендикуляра відносно вибраної базової лінії або дуги. Базова лінія може бути зміщена паралельно або повернута в залежності з вимогами розмічування.

Програма ” Обернена засічка ”

дозволяє встановити інструмент в будь – якому місці та визначити координати точки стояння, висотну відмітку та орієнтування горизонтального круга.

Програма “ Положення недоступної точки ” (наприклад така, що знаходиться під мостом) дозволяє визначати цю точку за допомогою результатів вимірів допоміжної точки, що знаходиться під тією, що визначається, з подальшим візуванням на визначувану точку. **Функція “ Визначення прихованої точки ”** дозволяє визначити координати точки, яка перекрита будівлями або технікою, за допомогою спеціальної віхи на кінцях якої розміщені відбивачі. При вимірах віха розташовується під будь – яким кутом а програма проводить виміри прихованої точки так, ніби вимірювання проводиться прямим візуванням на неї. Крім того в даних електронних тахеометрах включено програми: **“ Шляховик ”** що дозволяє виконувати розмічування і контроль положення траси при будівництві доріг та інших криволінійних об’єктів, а також **опція “ Координатна геометрія ”** що включає в себе ряд функцій: пряму та обернену геодезичну задачу, трасування, різноманітні комбінації перетинів (азимут – азимут, відстань – відстань, по 4 – ох точках) визначення ортогональних та подовжніх відступів. Координати обчислених точок можуть бути відразу винесені в натуру.

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ:

1. Якому конструктивному виконанню тахеометрів найбільше відають перевагу?
2. Що таке режим «трекінга»?
3. Що представляє собою улаштування «Треклайт» фірми « Геотронікс»?
4. Що є відміною рисою «роботизованих», електронних тахеометрів?
5. Що називають інтегрованою системою?
6. Що відіграє головну роль в сучасних електронних тахеометрах?
7. Що таке електронний польовий журнал?