

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ

А. П. БАГМЕТ, О. М. ОХРІМЕНКО

ВІЙСЬКОВА ТПОТОГРАФІЯ

Орієнтування та рух  
на місцевості



2003

△ 214.3

△ 197.1

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ

**Житомирський військовий інститут радіоелектроніки  
імені С.П.Корольова**

А.П. Багмет, О.М. Охріменко

**ВІЙСЬКОВА ТОПОГРАФІЯ**

**ОРІЄНТУВАННЯ ТА РУХ  
НА МІСЦЕВОСТІ**

За редакцією кандидата військових наук,  
доцента А.П. Багмета

Затверджено начальником  
військового інституту  
як навчальний посібник  
для курсантів, студентів  
та офіцерів інституту

Житомир  
2003

Ц 934.5

Багмет А.П., Охріменко О.М. Військова топографія. Орієнтування та рух на місцевості : Навчальний посібник / За ред. А.П.Багмета. – Житомир : ЖВІРЕ, 2003. – 184 с.: іл.

У навчальному посібнику розглянуті основні положення орієнтування на місцевості за топографічною картою, компасом та орієнтирами місцевості, наведені класифікація навігаційних систем, принципи роботи та основи використання навігаційних засобів, що застосовуються у Сухопутних військах під час здійснення руху на місцевості, основи концепції застосування глобальної системи визначення місцеположення, таких як NAVSTAR і ГЛОНАСС, та напрямки їх використання для топогеодезичного забезпечення ЗС України.

Навчальний посібник розробили: кандидат воєнних наук, доцент А. П. Багмет та викладач О. М. Охріменко.

Загальна редакція кандидата воєнних наук, доцента  
А. П. Багмета.

Для курсантів, студентів та офіцерів інституту.

Рецензенти: кандидат воєнних наук, доцент  
А.І. Новожилов; кандидат технічних наук С.В. Водоп'ян.

## ВСТУП

Аналізуючи міжнародний досвід застосування сил та засобів озброєної боротьби, можна зробити висновок, що розвиток військової справи суттєво змінив форму й зміст усіх видів забезпечення військ, у тому числі і топогеодезичне.

Озброєння й бойова техніка сучасних армій дозволяють вести бойові дії у будь-яких умовах місцевості й погоди, у будь-яку пору року та доби, долати перешкоди, які вважалися раніше недоступними. Усе це вимагає детальніше враховувати й оцінювати особливості місцевості, і навіть такі, в яких раніше не було потреби, правильно та своєчасно орієнтуватися на місцевості.

Класичні методи підготовки вихідних геодезичних даних та визначення свого місцезнаходження забезпечують, як правило, потреби та вимоги військ щодо їх точності, вірогідності та можливості виконувати нестандартні види робіт тощо).

Проте існує ряд обмежень щодо застосування класичних засобів геодезії при забезпеченні Сухопутних військ вихідними геодезичними даними. Основними з них є вимоги взаємної видимості між точками. Часовий фактор виконання поставлених завдань залежить від щільності вихідної геодезичної основи, погодних умов та участі значної кількості виконавців.

Тому наряду з використанням традиційних методів та засобів визначення свого місцезнаходження на місцевості необхідно оволодівати перспективними методами, до яких відноситься і космічна технологія.

Впровадження у Збройних Силах супутникових навігаційних систем та їх використання наряду з існуючими засобами підвищить оперативність та точність визначення свого місцезнаходження на місцевості.



## Г л а в а 1

### ОРІЄНТУВАННЯ НА МІСЦЕВОСТІ ПО КАРТІ

#### 1.1. Карта – основний засіб орієнтування на місцевості

Топографічна карта — надійний путівник по незнайомій місцевості. По ній можна швидко і точно визначити своє місце розташування і упевнено витримати заданий або намічений маршрут руху.

Значення карти як засобу орієнтування особливо зросло в сучасному бою, коли підрозділи швидко переміщуються на великі відстані вдень і вночі, часто діють самостійно при вирішенні багатьох бойових задач.

Орієнтування по карті шляхом звірення її з місцевістю в даний час є основним способом орієнтування. Обладнання бойових і спеціальних машин навігаційною апаратурою не применшує значення карти. Ця апаратура лише частково автоматизує процес орієнтування на місцевості по карті.

При орієнтуванні на місцевості командири підрозділів звичайно користуються топографічними картами масштабу 1:50 000 і 1:100000.

Орієнтування по карті включає орієнтування самої карти, звірення її з місцевістю з використанням найближчих орієнтирів і визначення свого місця розташування (точки стояння). Після цього карту звіряють з місцевістю, використовуючи визначені орієнтири, і переконуються в правильності орієнтування на місцевості. Усі ці дії взаємозалежні.

При навчанні орієнтуванню по карті спочатку корисно освоїти прийоми її орієнтування і впізнання на ній найближчих місцевих предметів і форм рельєфу, потім прийоми визначення точки стояння і лише після цього приступити до прийомів детального звірення карти з місцевістю, тобто до впізнання на ній визначених місцевих предметів і форм рельєфу.

## 1.2. Орієнтування карти на місцевості

Орієнтувати карту – це значить розташувати її в горизонтальній площині так, щоб північна (верхня) сторона рамки карти була звернена на північ. При такому положенні карти розташування місцевих предметів і форм рельєфу на місцевості буде відповідати розташуванню їхніх умовних знаків на карті.

Орієнтування карти може бути виконане по лінійному орієнтиру або напрямку на орієнтир, коли на карті заздалегідь відомо своє місце розташування (точка стояння). Якщо точка стояння невідома, карту орієнтують по сторонах об'їю.

**По лінійному орієнтиру** карта може бути орієнтована приблизно або точно.

Для наближеного орієнтування досить повернути карту так, щоб думкою проведений від точки стояння напрямок уздовж умовного знака лінійного орієнтира на карті, наприклад дороги, збігся з напрямком цього орієнтира на місцевості. Наближене орієнтування карти виконують найчастіше на марші при звіренні карти з місцевістю в русі і контролі за проходженням заздалегідь намічених орієнтирів — перехресть і розвилок доріг, мостів, населених пунктів і інших характерних об'єктів. Своє місце розташування на карті в такому випадку визначають також приблизно на око (рис. 1.1).

Для точного орієнтування карти використовують візирну лінійку або олівець. Приклавши лінійку до умовного знака лінійного орієнтира, наприклад дороги, сполучають її напрямком з напрямком цього орієнтира на місцевості. Потім перевіряють, чи всі місцеві предмети і форми рельєфу, розташовані на місцевості праворуч і ліворуч від дороги, мають таке ж розташування на карті. Якщо ця умова виконана, карта орієнтована правильно.

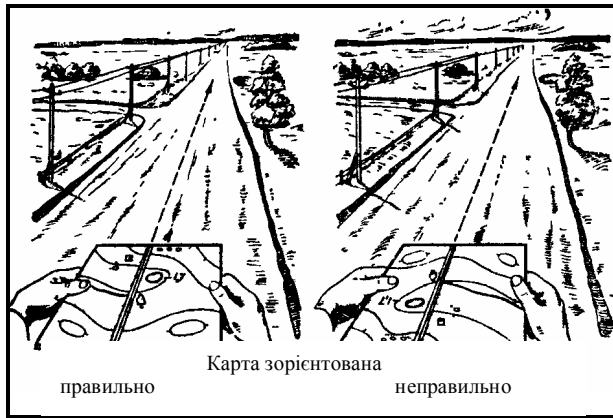


Рис. 1.1. Орієнтування карти по лінійному орієнтиру

**По напрямку на орієнтир** карту орієнтують так само, як і по лінійному орієнтиру. Відмінність полягає лише в тому, що замість лінійного орієнтира використовують напрямок від точки стояння на який-небудь визначений місцевий предмет (окреме дерево, міст, ретранслятор, тобто точковий орієнтир), надійно пізаний на місцевості і на карті.

При наближеному орієнтуванні карти цим прийомом її повертають у горизонтальному положенні так, щоб думкою проведений на карті напрямок від точки стояння на умовний знак місцевого предмета приблизно збігся з цим напрямком на місцевості.

Точне орієнтування карти по напрямку на визначений місцевий предмет (орієнтир) виконують за допомогою візирної лінійки або олівця (рис. 1.2). Лінійку прикладають на карті бічною гранню до точки стояння (окремий камінь) і умовного знака того ж предмета, по напрямку на який орієнтують карту (залізничний міст). Потім повертають карту в горизонтальному положенні так, щоб предмет на місцевості виявився на лінії візування. У такому положенні карта буде орієнтована точно.

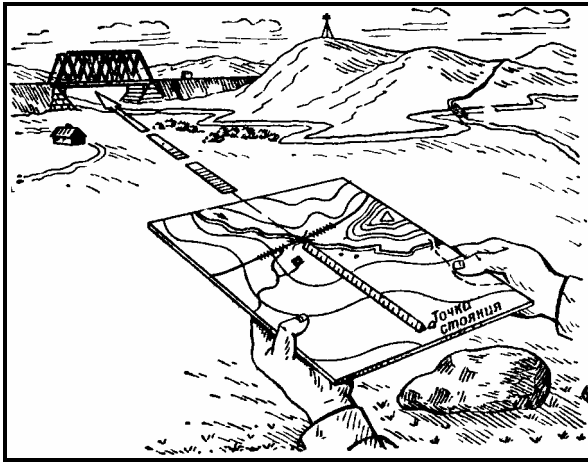


Рис. 1.2. Орієнтування карти по напрямку на орієнтир

**По компасу** карту орієнтують, коли не визначене своє місце розташування на ній або з точки стояння не видно орієнтирів.

При приближеному орієнтуванні карти по компасу спочатку визначають напрямок на північ, зауважують у цьому напрямку який-небудь орієнтир і потім повертають карту так, щоб верхня (північна) сторона рамки карти була звернена в напрямку орієнтира.

При точному орієнтуванні карти по компасу спочатку покажчик відліку компаса встановлюють проти розподілу шкали, рівного поправці напрямку. Потім встановлюють компас на будь-яку вертикальну лінію координатної сітки так, щоб з нею збігалися верхній і нижній покажчики відліку компаса ( $0^0$  і  $180^0$ ), а нуль компаса було направлено на північ. Не змінюючи положення компаса після цього, карту разом з компасом повертають у горизонтальній площині доки, поки північний кінець магнітної стрілки не установиться проти відліку величини поправки напрямку для даного аркуша карти (рис. 1.3).

Якщо компас прикладається до бічної (східної або західної) рамки карти, то карту разом з компасом повертають у горизонтальній площині доки, поки північний кінець магнітної стрілки не установиться проти відліку величини магнітного схилення для даного аркуша карти.

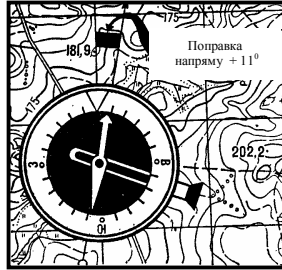


Рис. 1.3. Орієнтування карти за компасом

Якщо поправка напрямку або магнітне схилення східні (+), покажчик відліку встановлюють вправо від нульового розподілу шкали, а якщо західні (-) — вліво.

У тому випадку, коли поправка напрямку (магнітне схилення) менше  $3^\circ$ , тобто дорівнює цінні розподілу шкали компаса, вони при орієнтуванні карти не враховуються.

**По небесних світилах** (Сонцю, Полярній зірці, Місяцю) карту орієнтують приблизно. Спочатку визначають по небесних світилах напрямок на північ і зауважують у цьому напрямку який-небудь орієнтир. Потім повертають карту так, щоб її верхня (північна) рамка була звернена в напрямі цього орієнтира.

### 1.3. Звірення карти з місцевістю

При орієнтуванні і роботі з картою в польових умовах постійно приходиться звіряти її з місцевістю, тобто знаходити на карті зображення навколишніх місцевих предметів і форм рельєфу, і навпаки, пізнавати на місцевості об'єкти, показані на карті.

Звіряючи карту з місцевістю, можна точно визначити своє місце розташування, швидко і докладно вивчити місцевість, виявити зміни, що відбулися на ній у порівнянні з картою, уточнити розташування цілей, що спостерігаються, орієнтирів та інших важливих об'єктів, а при необхідності і визначити напрямки на об'єкти, зображені на карті, але не видимі з точки стояння.

Карту звіряють з місцевістю в такій послідовності.

Спочатку після наближеного орієнтування карти знаходять на ній зображення близько розташованих і добре видимих на місцевості об'єктів. По них визначають своє місце розташування (точку стояння). Потім точно орієнтують карту і пізнають на ній і місцевості визначені об'єкти. При огляді місцевості карту увесь час тримають перед собою в орієнтованому положенні.

Для визначення на карті умовного знака об'єкта, видимого на місцевості, думкою або по лінійці проводять на орієнтованій карті лінію з точки стояння на об'єкт місцевості, вимірюють до нього відстань і відкладають цю відстань у масштабі карти по лінії. Потім знаходять умовний знак видимого об'єкта або переконуються в тім, що цей об'єкт на карті не показаний.

При діях на машині, обладнаній кутоміром, зображення на карті визначеного об'єкта визначають шляхом виміру кута між раніше пізнаним і об'єктами, що визначаються. Обмірюваний кут відкладають на карті, прокреслюють пряму лінію в напрямку на об'єкт, що пізнається. На цій лінії відкладають обмірювану до об'єкта відстань і знаходять його місце розташування.

Визначення на місцевості об'єкта, зображеного на карті, виконують у такому порядку.

Спочатку знаходять точку свого стояння і визначають по карті відстань до об'єкта, що відшукується. Потім прикладають до точки стояння й умовного знака об'єкта, що

відшукується, лінійку, точно орієнтують карту, візують уздовж лінійки і, з огляду на відстань до об'єкта, відшукують його на місцевості.

#### 1.4. Визначення по карті точки стояння

Точка стояння може бути визначена на карті різними способами: по найближчих орієнтирах на око, проміром відстані, по напрямку на орієнтир і відстані до нього, по створу або засічкою. Спосіб визначення точки стояння вибирається з урахуванням наявного часу, умов обстановки і необхідної точності.

Визначення свого місця розташування **по найближчих орієнтирах на око**. Це найбільш розповсюджений спосіб. На орієнтованій карті пізнають один-два місцевих предмети, видимих на місцевості, потім визначають окомірно своє місце розташування щодо цих предметів по напрямках і відстанях до них і намічають на карті точку свого стояння (рис. 1.4). Якщо точка стояння на місцевості знаходиться поруч з яким-небудь місцевим предметом, зображеним на карті, то місце розташування умовного знака цього предмета буде збігатися із шуканою точкою стояння.

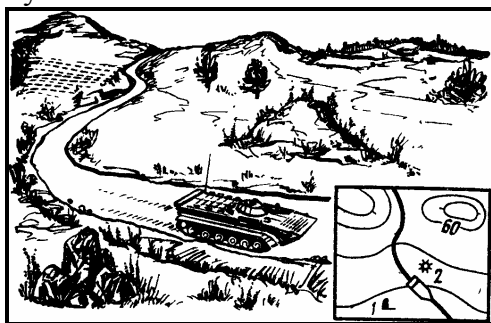


Рис. 1.4. Визначення точки стояння по найближчих орієнтирах

**Проміром відстані.** Цей спосіб найчастіше застосовується при русі по лінійному орієнтиру або уздовж його (по



дорозі, просіці і т.п.), а також при русі по азимутах. На вихідному пункті записують відлік по спідометру і починають рух. При визначенні свого місця розташування на карті відкласти відстань, пройдену від вихідного пункту до точки зупинки. Якщо рух відбувається в пішому порядку або на лижах, пройдену відстань визначають парами кроків або за часом руху.

**По напрямку на орієнтир і відстані до нього** точка стояння може бути визначена, якщо на місцевості і на карті пізнаний лише один орієнтир. У цьому випадку на орієнтованій карті до умовного знака пізнаного орієнтира прикладають лінійку, візують її на орієнтир на місцевості, по краю лінійки прокреслюють пряму лінію і відкладають на ній відстань до орієнтира. Отримана на лінії візування точка і буде шуканою точкою стояння.

**По створу.** Створом називається пряма лінія, що проходить через точку стояння і дві інші характерні точки місцевості (орієнтири).

Якщо машина знаходиться на лінії створу, її місце розташування на карті може бути визначено:

*по створу і лінійному орієнтиру* (рис. 1.5). Знаходячись на лінійному орієнтирі й у створі з двома іншими місцевими предметами, досить прокреслити на карті пряму через умовні знаки місцевих предметів, у створі з якими знаходиться точка стояння на місцевості, до перетинання з лінійним орієнтиром (дорогою).

Точка перетинання лінії створу з дорогою і буде шуканою точкою стояння;

*по створу і бічному орієнтиру.* У приведеніму прикладі на рис. 1.6 створом служить напрямок вулиці населеного пункту. Для визначення точки стояння орієнтують карту по лінії створу, а потім, приклавши лінійку до бічного орієнтира (окреме дерево), візують на нього і прокреслюють пряму до перетинання з лінією створу. На перетинанні лінії створу

з лінією візування на орієнтир і буде знаходитися точка стояння;

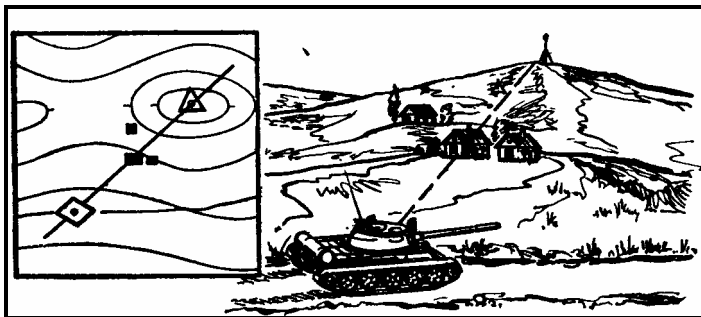


Рис. 1.5. Визначення точки стояння по створу і лінійному орієнтиру

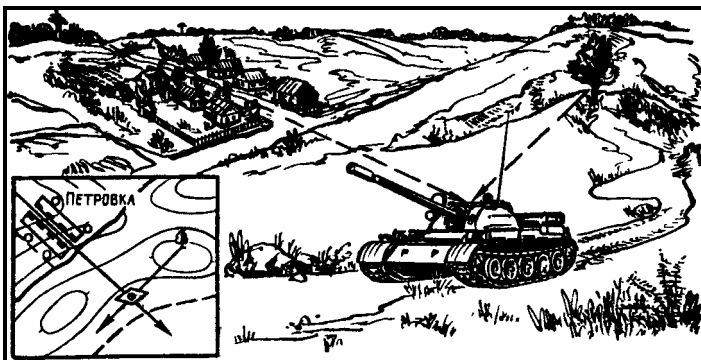


Рис. 1.6. Визначення точки стояння по створу і бічному орієнтиру

*по обмірюваній відстані.* На карті прокреслюють лінію створу. Потім визначають відстань до найближчого орієнтира, що знаходиться на лінії створу, і відкладають цю відстань на прокресленій прямій (від орієнтира на себе). Отримана на прямій точка буде точкою стояння.

**Засічкою** точку стояння визначають за умови гарного огляду місцевості і наявності на ній місцевих предметів і форм рельєфу, що можуть служити надійними орієнтирами.

По бічному орієнтиру (рис. 1.7) засічка робиться, як правило, при русі по дорозі або уздовж якого-небудь лінійного орієнтира. Знаходячись на дорозі, орієнтують карту, визначають на карті зображення добре видимого на місцевості предмета (орієнтира), прикладають візирну лінійку до умовного знака орієнтира і візують на нього. Потім, не змінюючи положення лінійки, прокреслюють на карті пряму лінію до перетинання з умовним знаком дороги. Місце перетинання прокресленої лінії з умовним знаком дороги буде шуканою точкою стояння.

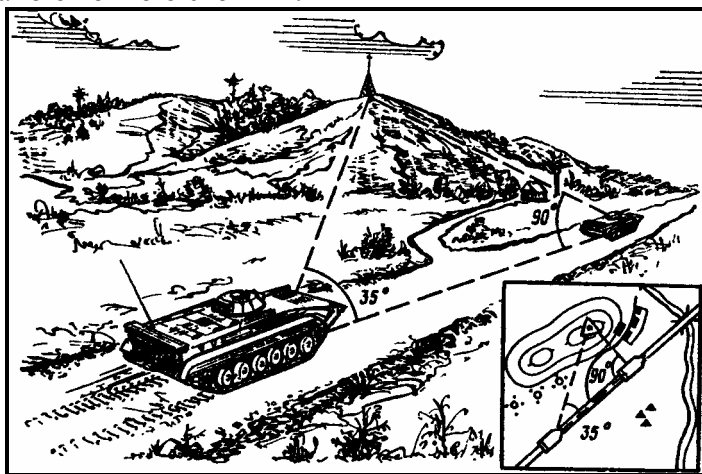


Рис. 1.7. Визначення точки стояння засічкою по бічному орієнтиру

Цим способом найбільш точно визначають своє місце розташування на карті, якщо напрямок на бічний орієнтир перетинається з напрямком руху під прямим кутом. Такий випадок називається *засічкою по перпендикуляру*.

По двох-трьох орієнтирах (рис. 1.8) засічка найчастіше виконується, коли своє місце розташування на карті не позначено. Карту орієнтують по компасу і пізнають на місцевості два-три орієнтири, зображених на карті. Потім, як і в попередньому випадку, візують по черзі на обрані орієнти-

ри і прокреслюють по лінійці напрямки від орієнтирів на себе.

Усі ці напрямки повинні перетнутися в одній точці, що буде точкою стояння. Така засічка називається зворотною.

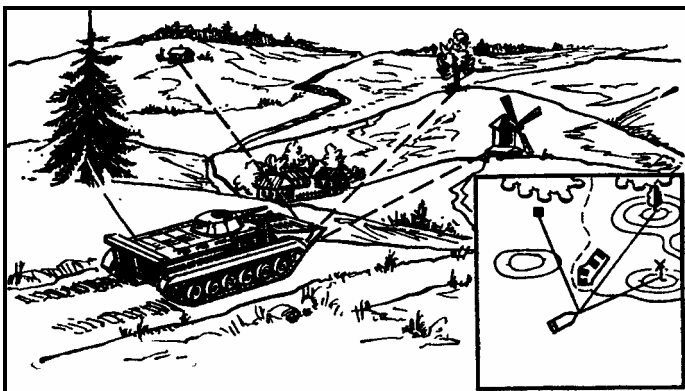


Рис. 1.8. Визначення точки стояння засічкою по трьох орієнтирах

*По обмірюваних (побудованих) кутах* (спосіб Болотова) засічка виконується в такій послідовності (рис. 1.9):

за допомогою баштового кутоміра або іншим способом, наприклад компасом, вимірюють горизонтальні кути між трьома орієнтирами, обраними навколо точки стояння і чітко зображеними на карті;

будують обмірювані кути на прозорому папері при нанесеній довільно точці, прийнятій за точку стояння; ці кути можуть бути побудовані і безпосередньо візуванням за допомогою лінійки на обрані орієнтири на місцевості;

накладають папір на карту так, щоб кожний прокреслений на ній напрямок пройшов через умовний знак того орієнтира, на який він проведений при візуванні або побудові по обмірюваних кутах;

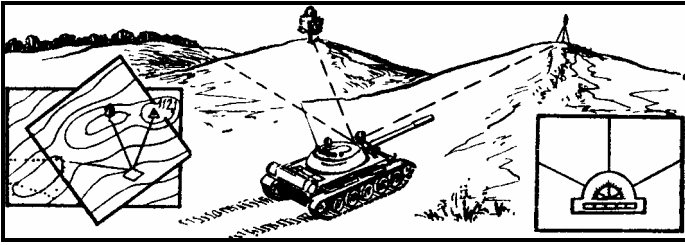


Рис. 1.9. Визначення точки стояння засічкою по обмірjуваних (побудованих) кутах

сполучивши всі напрямки з відповідними їм умовними знаками орієнтирів, переколюють на карту намічену на листі паперу точку, при якій побудовані напрямки. Ця точка і буде точкою стояння.

По зворотних дирекційних кутах (рис. 1.10) засічку виконують найчастіше в обстановці, коли не можна працювати з картою на місцевості відкрито.

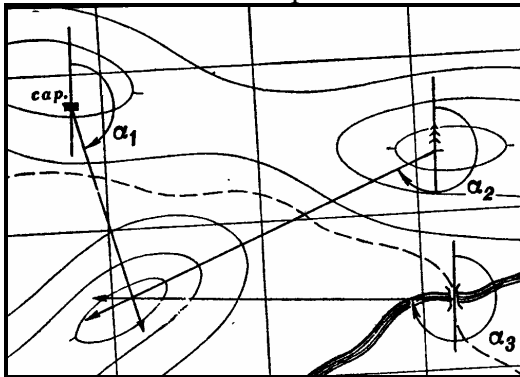


Рис. 1.10. Визначення точки стояння засічкою по зворотних дирекційних кутах

У цьому випадку вимірюють компасом зворотні азимуту з точки стояння на два-три точкових орієнтири, видимі на місцевості і пізнані на карті. Значення зворотних азиму-

тів відраховують по шкалі компаса проти покажчика, розташованого в цілику. Обмірювані азимуты переводять у дирекційні кути. Потім, побудувавши ці кути при відповідних орієнтирах на карті, прокреслюють напрямки до перетинання один з одним. Точка перетинання напрямків і буде точкою стояння. При визначенні точки стояння будь-яким способом засічки варто вибирати напрямки так, щоб вони перетиналися під кутом не менше  $30^\circ$  і не більше  $150^\circ$ . При всіх можливих випадках перевіряють положення отриманої точки стояння візуванням на додатковий місцевий предмет (орієнтир). Якщо при перетинанні трьох напрямків утворився трикутник, точку стояння ставлять у його центрі. При великих розмірах трикутника, коли його сторони більше 2 мм, засічку необхідно повторити, попередньо перевіривши точність орієнтування карти.

### **1.5. Топографічне орієнтування на місцевості**

При діях підрозділу в різних умовах місцевості і видимості швидке і точне орієнтування підлеглих є найважливішою задачею командира.

Орієнтування підлеглих на місцевості називається топографічним орієнтуванням. Воно сприяє швидкому з'ясуванню підлеглими місця розташування орієнтирів, рубежів, цілей і своїх бойових задач. Топографічне орієнтування є важливим первинним етапом роботи командира підрозділу при постановці й уточненні бойових задач підлеглим.

При топографічному орієнтуванні спочатку вказують час і напрямок на одну зі сторін горизонту. Потім указують своє місце розташування (місце розташування підрозділу), напрямки на навколишні місцеві предмети і форми рельєфу і відстані до них. Направки вказують щодо свого положення (праворуч, прямо, ліворуч) або по сторонах обрїю, час — місцевий, найменування предметів — по топографічній карті. У результаті топографічного орієнтування підлегли усві-

домлюють, де вони знаходяться, напрямки на населені пункти, річки, озера й інші місцеві предмети, що розташовані на віддаленні до 5—10 км, точні (некодовані) назви цих місцевих предметів.

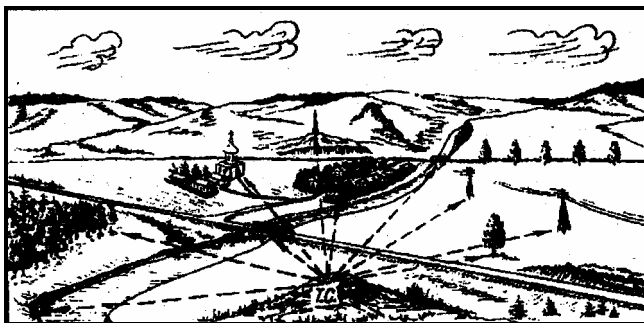


Рис. 1.11. Топографічне орієнтування на місцевості

Наприклад (рис. 1.11): «Час місцевий - 18.35. Північ - міст через річку. Знаходимося на висоті з відміткою 211,7. Праворуч, 3 км - Іванівна, 7 км - Каменськ; прямо 1 км - річка Ара, за лісом 5 км - озеро Глибоке». Після цього командир вказує орієнтири і проводить тактичне орієнтування.

Топографічне орієнтування може застосовуватися при доповідях по засобах зв'язку про своє місце розташування в тих випадках, якщо немає карти або загублене орієнтування на місцевості. Наприклад: «Знаходжуся на кургані, 1,5 км на північ - міст; 900 м на північний захід - вигін річки Ара; 3 км на північ - церква, 700 м на схід - окреме дерево». По зазначених місцевих предметах (орієнтирах) старший начальник визначає місце розташування підрозділу на топографічній карті. Тому при топографічному орієнтуванні вибираються найбільш характерні майданні і лінійні орієнтири, які легко і швидко можна знайти на карті.



## **1.6. Підготовка по карті даних для руху за азимутами**

Підготовка даних для руху за азимутами виконується по великомасштабній топографічній карті і включає вивчення місцевості, вибір маршруту й орієнтирів на шляху руху, визначення магнітних азимутів напрямків і відстаней між обраними орієнтирами на точках повороту маршруту, оформлення даних на карті або складання схеми (таблиці) руху.

При вивченні місцевості в напрямку руху оцінюють головним чином її прохідність, маскувальні і захисні властивості, визначають важкопрохідні і непрохідні ділянки і шляхи їх обходу.

**Вибір маршруту й орієнтирів.** Накреслення маршруту залежить від характеру місцевості, наявності орієнтирів на ній і від умов майбутнього руху. Основна вимога до маршруту полягає в тому, щоб він забезпечував швидкий, а в бойовій обстановці і скритий вихід до зазначеного пункту.

Маршрут вибирають з таким розрахунком, щоб він був з мінімальним числом поворотів. У маршрут включають дороги, просіки й інші лінійні орієнтири, напрямком яких збігається з напрямком руху. Це полегшить витримування напрямку руху. Точки повороту маршруту намічають за орієнтирами, які можна легко пізнати на місцевості (наприклад, будівлі баштового типу, перехрестя доріг, мости, шляхопроводи, геодезичні знаки).

При виборі орієнтирів на ділянках маршруту необхідно враховувати спосіб витримування напрямку руху і точність, що він забезпечує. Наприклад, точність витримування напрямку по компасу при русі в пішому порядку складає 0,1 пройденої відстані. Якщо відстань між орієнтирами на ділянці маршруту буде 4 км, то при виході до чергового орієнтира відхилення може бути близько 400 м. На відшукання орієнтира на місцевості в цьому випадку буде потрібно багато часу.

Досвід показує, що відстані між поворотними точками по маршруті руху не повинні перевищувати 1-2 км при русі вдень у пішому порядку, а при русі на машині і витримуванні напрямків по гіронапівкомпасу - 6-10 км. При русі вночі орієнтири намічаються по маршруті частіше.

Щоб забезпечити потайливий вихід до зазначеного пункту, маршрут намічають по лощинах, масивах рослинності й інших об'єктів, що забезпечують маскування руху від оптичних, радіолокаційних і інфрачервоних засобів розвідки противника. Необхідно уникати пересувань по гребенях висот і по відкритих ділянках.

**Визначення магнітних азимутів ( $A_M$ ).** Магнітний азимут напрямку на місцевий предмет визначають по обмірюваному на карті дирекційному куту цього напрямку. При перекладі дирекційного кута в магнітний азимут враховується поправка напрямку для даного аркуша карти. У деяких випадках магнітний азимут напрямку може бути визначений по обмірюваному на карті геодезичному (істинному) азимуту цього напрямку.

Взаємозалежність між магнітним азимутом, дирекційним кутом і геодезичним (істинним) азимутом показана на рис. 1.12.

**Дирекційний кут ( $a$ )** — кут між північним напрямком вертикальної лінії координатної сітки карти і напрямком на місцевий предмет (орієнтир), відлічений по ходу годинникової стрілки. Він може мати значення від 0 до 360° (60-00).

**Геодезичний (істинний) азимут ( $A$ )** — кут між північним напрямком геодезичного (істинного) меридіана (бічною стороною рамки карти або лінії, рівнобіжної їй) і напрямком на предмет, відлічений по ходу годинникової стрілки. Геодезичний азимут, як і дирекційний кут, може мати значення від 0 до 360°.

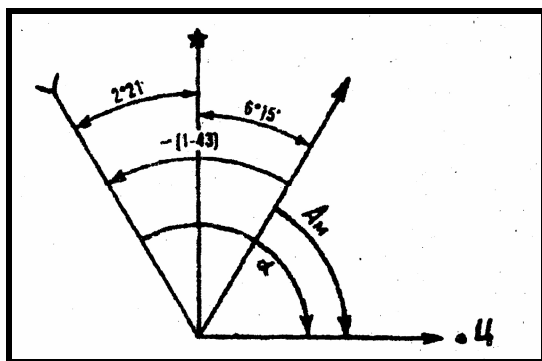


Рис. 1.12. Взаємозв'язок між магнітним азимутом, дирекційним кутом і геодезичним азимутом

**Зближення меридіанів ( $\gamma$ )** — кут між північним напрямком геодезичного (істинного) меридіана і вертикальною лінією координатної сітки. Зближення меридіанів відраховується від північного напрямку геодезичного меридіана по ходу або проти ходу годинникової стрілки до північного напрямку вертикальної лінії сітки. Для точок, розташованих на схід геодезичного меридіана, значення зближення додатне, а для точок, розташованих на захід, — від'ємне. На топографічних картах, що використовуються в ЗСУ, значення зближення меридіанів не перевищує  $\pm 3^\circ$ .

**Магнітне схилення ( $\delta$ )** — кут між північним напрямком геодезичного (істинного) меридіана і напрямком магнітного меридіана (магнітної стрілки). Якщо північний кінець магнітної стрілки відхиляється від геодезичного меридіана на схід, магнітне схилення вважається додатним, а на захід — від'ємним.

**Поправка напрямку ( $ПН$ )** — кут між напрямком вертикальної лінії координатної сітки і магнітним меридіаном. Вона дорівнює алгебраїчній різниці магнітного схилення і зближення меридіанів:

$$ПН = (\pm \delta) - (\pm \gamma).$$

Дані про магнітне схилення, зближення меридіанів і значення поправки напрямку містяться під південною стороною рамки кожного листа топографічної карти великого масштабу. Перехід від обмірюваних на карті дирекційних кутів і геодезичних азимутів до магнітних азимутів виконується по формулах:

$$A_M = \alpha - (\pm \text{ПН});$$

$$A_M = A - (\pm \delta).$$

**Вимір по карті дирекційних кутів.** Дирекційні кути напрямів на місцеві предмети (орієнтири) вимірюють по карті транспортиром, артилерійським кругом.

*Транспортиром* дирекційний кут на карті вимірюють у такій послідовності:

орієнтир, на який вимірюють дирекційний кут, з'єднують прямою лінією з точкою стояння так, щоб ця пряма була більше радіуса транспортира і перетнула хоча б одну вертикальну лінію координатної сітки;

сполучають центр транспортира з точкою перетинання, як показано на рис. 1.13, і відраховують по транспортиру значення дирекційного кута.

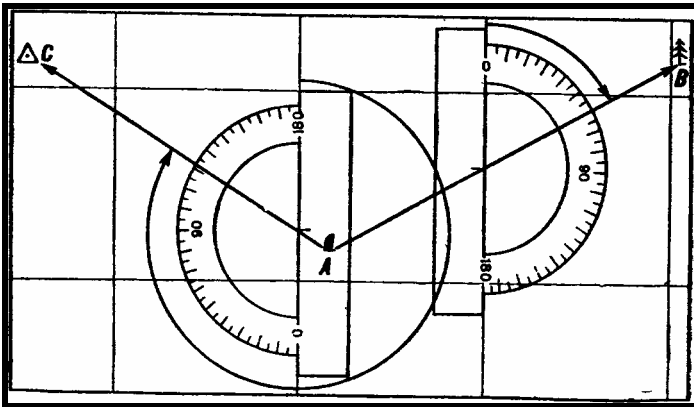


Рис. 1.13. Вимір дирекційних кутів по карті транспортиром

У приведеному прикладі дирекційний кут із точки *A* (окремий камінь) на точку *B* (окреме дерево) дорівнює  $60^\circ$ , а дирекційний кут із точки *A* на точку *C* (геодезичний пункт) -  $302^\circ$  ( $180^0+122^0$ ).

*Артилерійський круг* являє собою целулоїдну пластину, по зовнішньому зрізу якої нанесена шкала в розподілах кутотоміра. Ціна одного поділу дорівнює 0-10. Великі поділи, що відповідають 1-00, оцифровані від 0 до 60; при цьому ряд червоних цифр нанесений у зростаючому порядку по ходу годинникової стрілки, а ряд чорних цифр — проти ходу годинникової стрілки.

При вимірі дирекційного кута артилерійський круг встановлюють на карті так, щоб його центр збігся з точкою перетинання лінії обумовленого напрямку і вертикальної лінії координатної сітки, а нульовий штрих — з північним напрямком цієї лінії. Потім знімають відлік по червоній шкалі круга проти лінії обумовленого напрямку.

**Вимір відстаней.** Відстані між обраними на маршруті руху орієнтирами вимірюють по прямих лініях за допомогою циркуля-вимірника і лінійного масштабу або лінійки з міліметровими поділами. Точність виміру відстаней повинна бути не менше 0,5мм у масштабі карти.

Таблиця 1.1

### Поправочний коефіцієнт

Місцевість	Поправочний коефіцієнт для карт масштабу		
	1:50000	1:100000	1:200000
Гірська (сильнопоресічена)	1.15	1.20	1.25
Горбкувата (середньопоресічена)	1.05	1.10	1.15
Рівнинна (легкопоресічена)	1.0	1.0	1.05

Якщо маршрут намічений по горбкуватій (гірській) місцевості, то в обмірюванні по карті відстані вводиться поправочний коефіцієнт обліку характеру місцевості (табл. 1.1).

**Складання схеми і таблиці руху за азимутами.** Схему складають у такій послідовності:

на чистий лист паперу переносять з карти початкову точку, орієнтири на точках повороту і кінцеву точку маршруту. Розташування орієнтирів на схемі повинне бути подібне до їх положення на карті. Всі орієнтири зображуються на схемі такими ж умовними знаками, як і на карті;

перенесені з карти на схему орієнтири нумерують і з'єднують прямими лініями;

проти кожної лінії виписують вихідні дані для руху у виді дробу: у чисельнику — магнітні азимуты, у знаменнику — відстані в метрах. Якщо рух по азимутах буде відбуватися в пішому порядку і відома довжина кроку ведучого, то відстані в метрах переводять у пари кроків і записують на схему. Крім того, у знаменнику вказують час у хвилинах, необхідний на подолання ділянки маршруту відповідно до нормативних вимог;

наносять на схему стрілку «північ - південь» і додатково показують по напрямку маршруту й осторонь від нього орієнтири, що можуть бути використані при русі як проміжні або допоміжні.

Стосовно до рис. 1.14 у таблиці 1.2 приведені дані для руху за азимутами.

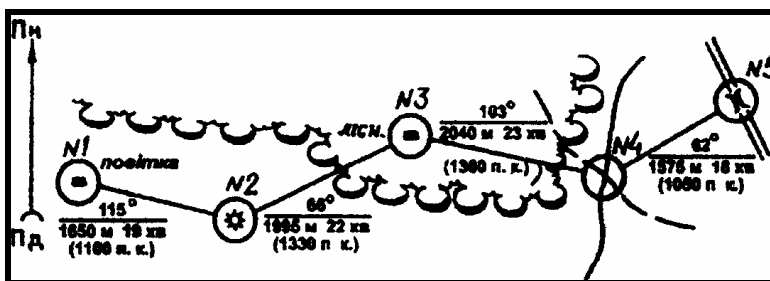


Рис.1.14. Схема руху за азимутами

**Дані для руху за азимутами**

Номер точки	Ділянка маршруту	Магнітний азимут Ам, °	Відстань, м		Час, хв.
			м.	п. к.	
1	Повітка - курган	115	1650	1100	19
2	Курган - будинок лісника	66	1995	1330	22
3	Будинок лісника - перехрестя доріг	103	2040	1360	23
4	Перехрестя доріг - міст	62	1575	1050	18

У тих випадках, коли потрібно витримати лише загальний напрямок руху, наприклад напрямок наступу, схема (таблиця) руху не складається. Азимут напрямку руху визначається безпосередньо на місцевості за компасом і вказується усно.

**1.7. Орієнтування на місцевості по карті в русі**

Упевнене орієнтування і витримування заданого напрямку руху по карті багато в чому залежить від підготовки до орієнтування. Основною задачею при цьому є попереднє вивчення умов орієнтування по маршруті руху і завчасна підготовка даних, необхідних для контролю правильності руху.

Підготовка до орієнтування включає залежно від обстановки цілком або частково такі заходи: вибір і вивчення маршруту руху, підйом його на карті; визначення довжини маршруту і розбивка його на окремі ділянки; визначення магнітних азимутів напрямків руху на ділянках, складних для орієнтування по карті; перевірку справності компаса (гіронапівкомпаса) і слідометра.

*Вибір і вивчення маршруту.* Маршрут руху вибирається по карті з урахуванням умов обстановки і характеру місцевості. Перевага віддається дорогам із твердим покриттям.



Дуже важливо, щоб на маршруті було менше перешкод, а також мостів, шляхопроводів, гребель і т.п., що можуть бути навмисно зруйновані або заміновані. В усіх випадках заздалегідь намічаються об'їзди таких перешкод.

Вивчення заданого або обраного маршруту руху виконують у такій послідовності:

уважно знайомляться з маршрутом і встановлюють характер і стан доріг, можливу швидкість руху по окремих ділянках маршруту, перешкоди і шляхи їх об'їзду, захисні властивості місцевості, що маскують. Якщо є ймовірність зустрічі із противником, то визначають вигідні рубежі, оволодіння якими дає перевагу в застосуванні вогневих засобів як своєму екіпажу (підрозділу), так і противнику, установлюють можливість потайного проведення маневру при підході до них;

вивчають умови орієнтування на всьому маршруті, установлюють наявність пришляхових споруджень, інших характерних місцевих предметів і форм рельєфу, що можуть служити надійними орієнтирами. Особливо ретельно вивчають місця поворотів маршруту, перехресть і розвилки доріг, в'їздів у населені пункти і виїздів з них;

по всьому маршруту вибирають через 5—10 км контрольні орієнтири. Вони повинні бути найбільш стійкими об'єктами місцевості і щоб можна було легко орієнтуватися при під'їзді до них.

*Піднімання (виділення) маршруту на карті.* Маршрут на карті піднімають кольоровим олівцем коричневого кольору. Контрольні орієнтири обводять кружками. Уздовж маршруту проводять суцільну лінію поруч з дорогою, перериваючи її в місцях, де є підписи або зображені місцеві предмети. Орієнтири при необхідності піднімаються збільшенням умовного знака, підтушуванням, підкресленням назв прямою лінією з метою їх більшої наочності і читаності на карті.

Визначення довжини маршруту і розбивка його на окремі ділянки. Відстані по маршруту вимірюють двічі з можливо більшою точністю. Спочатку визначають відстані між контрольними орієнтирами, в обмірювані відстані враховують поправку на рельєф і звивистість маршруту (див. табл. 1.1). Остаточний результат підписують у знаменнику (біля відповідних контрольних орієнтирів) наростаючим підсумком від вихідного пункту (рис. 1.15).

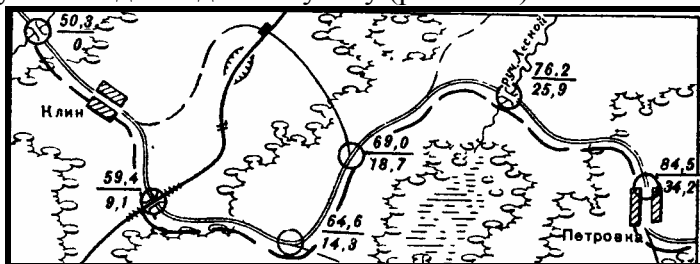


Рис. 1.15. Підготовка по карті маршруту руху

Перед початком руху на вихідному пункті переводять відстані між орієнтирами в показання спідометра і підписують їх у чисельнику.

Якщо по цій же карті планується марш, то довжина маршруту виміряється вдруге за допомогою курвіметра, одночасно відзначаються десятикілометрові ділянки.

При підготовці до руху в умовах, несприятливих для орієнтування, визначають і підписують на карті магнітні азимути напрямків руху, щоб можна було швидко перейти до орієнтування в дорозі по компасу (гіронапівкомпасу).

При вивченні маршруту і його оформленні на карті запам'ятовують назви великих населених пунктів, по яких проходить маршрут, а при наявності часу вивчають і запам'ятовують місцевість уздовж усього маршруту в смузі шириною 2—4 км.

Попереднє вивчення маршруту і підготовка карти ма-

ють велике значення для точного витримування напрямку і своєчасного виходу в зазначений район. Якщо ж час не дозволяє цілком підготувати карту і детально вивчити місцевість, то спочатку, ознайомившись з маршрутом, варто підняти його, а з першою нагодою намітити орієнтири і визначити відстані до них.

*Орієнтування в дорозі.* Перед початком руху на вихідному пункті записують показання спідометра, час початку руху, звіряють карту з місцевістю й орієнтують її по ходу руху (по дорозі).

Під час руху карту тримають перед собою орієнтованою, постійно звіряють її з місцевістю, стежать за проходженням намічених орієнтирів, звіряючи показання спідометра. У такий спосіб здійснюється безперервне орієнтування, що забезпечує правильність витримування зазначеного напрямку руху.

На марші до карти обов'язково звертаються при підході до перехрестя або розвилки доріг. Приблизно за 200—500 м до повороту механіку-водію вказують місце майбутнього повороту і напрямок подальшого руху. Наприклад: “Через 400 м поворот праворуч на просіку”.

При в'їзді в ліс або на ділянку, де мало орієнтирів, записують показання спідометра. Це дозволяє в будь-який момент часу визначити своє місце розташування по пройденій відстані, що при необхідності відкладають на карті.

При спостереженні за орієнтирами в дорозі, особливо при русі вночі, звичайно залучають усіх членів екіпажу. Для цього їх попередньо знайомлять з маршрутом руху, а в ході маршу задалегідь попереджають про майбутню появу орієнтира.

Для контролю руху поряд з місцевими предметами варто широко використовувати форми рельєфу: характерні висоти і хребти, лощини, яри, обриви. Це особливо важливо при русі на місцевості, де відбулися сильні зміни, тому що

місцеві предмети можуть бути знищені або створені знову, а основні форми рельєфу, як правило, залишаються незмінними.

### **1.8. Особливості орієнтування в різних умовах і відновлення загубленого орієнтування**

*Орієнтування в горах* значно ускладнено через глибоку розчленованість гірського рельєфу і малої кількості орієнтирів. Вершини, обрані як орієнтири, різко змінюють свої обриси, якщо дивитися на них з різних сторін, а іноді і взагалі губляться з виду.

Маршрут руху в гірській місцевості намічають звичайно по лощинах, гірських проходах і перевалах. Як орієнтири уздовж наміченого маршруту вибирають вершини, що виділяються, сідловини, обриви, скелі, осипи, а також усі місцеві предмети, що зустрічаються досить рідко і тому добре орієнтуються. Крім орієнтирів по маршруту корисно намітити допоміжні орієнтири, видимі з багатьох точок маршруту. Ними можуть бути виступи гірського хребта, засніжені вершини гір. Допоміжні орієнтири використовуються для витримування загального напрямку руху.

Найважливішою умовою правильного орієнтування в горах є уміння читати по карті рельєф. На відзначеному на карті маршруті стрілками показати підйоми і спуски на кожній ділянці з указівкою їх крутості. Ці дані допомагають витримати намічений маршрут, тому що підйоми і спуски добре відчуються під час руху машини.

Напрямки на сторони обрію, по яких найчастіше орієнтують карту в горах, визначають по небесних світилах, різних ознаках місцевих предметів і по компасу. При користуванні компасом необхідно враховувати, що в горах часто зустрічаються локальні аномалії, які на карті можуть бути не показані. Тому напрямки на сторони обрію, визначені по компасу, варто контролювати по небесних світилах і місце-

вих ознаках.

*Орієнтування в лісі* утруднено через обмеженість огляду місцевості. Маршрут руху намічають, як правило, по дорогах і просіках. При цьому треба враховувати, що ґрунтові дороги в лісі звичайно мало наїжджені і нерідко можуть бути не показані на карті, оскільки є тимчасовими. Тому при підготовці карти доцільно визначити і виписати азимути кожної ділянки дороги. Ці дані дозволяють при зустрічі на маршруті дороги, не показаної на карті, перевірити по компасу напрямок руху на будь-якій ділянці маршруту. Заздалегідь необхідно також вивчити характер рельєфу і гідрографії. Взаємне розташування височин, струмків, річок, озер, які відзначені розтушовкою на карті, полегшує визначення свого місця розташування.

Правильність витримування маршруту в лісі контролюють головним чином по пройдених відстанях.

*Орієнтування в пустельно-степовій місцевості* утруднено її одноманітністю і нерозвиненістю дорожньої мережі. Дороги звичайно слабко наїжджені і малопомітні. Маршрут руху в пустельній місцевості вибирають так, щоб він уключав наявні на місцевості орієнтири: дороги, русла висохлих рік, окремі кургани, колодязі, оазиси й ін. Рух роблять по азимутах, що визначають заздалегідь. Загальний напрямок руху витримують по небесних світилах, а також по розташуванню дюн, барханів і брижів на піску, що залежить від напрямку пануючого вітру і практично постійне для даного району.

При вивченні маршруту по карті необхідно виявити і підняти на карті всі окремі, хоча і невеликі, висоти і кургани, тому що з їх допомогою можна компасною засічкою визначати своє місце розташування.

*Орієнтування у великому населеному пункті* утруднено не тільки через обмежену видимість, але і через надлишок дрібних орієнтирів, які часто на карті не показуються. Ма-

ршрут у великому населеному пункті намічають, як правило, по основних проїздах, головних і магістральних вулицях. Такі вулиці чітко виділяються на карті. Повороти вибирають у місцях, де є помітні орієнтири: мости, шляхопроводи, залізничні станції, площі, церкви, пам'ятники й ін.

При підході до населеного пункту ретельно звіряють карту з місцевістю і якнайточніше визначають місце в'їзду в населений пункт. У самому населеному пункті карту орієнтують по напрямку вулиці, по якій роблять рух. Важливе значення при русі по великому населеному пункті має своєчасне попередження водія про повороти на маршруті, тому що проїзд наміченого повороту може привести до втрати орієнтування.

При виїзді з населеного пункту, якщо число доріг на місцевості і на карті не збігається і не вдається безпосередньо по карті визначити потрібну дорогу, напрямок подальшого руху встановлюють за допомогою компаса по магнітному азимуті дороги, обумовленому по карті.

*Орієнтування на місцевості, що зазнала значних руйнувань*, значно ускладнюється, тому що карта на такі райони, як правило, не буде цілком відповідати місцевості. Тому для орієнтування заздалегідь готують дані для руху за азимутами. Найбільш стійкими орієнтирами в районах руйнувань є дороги з твердим покриттям, полотно залізниць, вершини гір і пагорбів, хребти, сідловини, лощини.

При орієнтуванні в русі по сильно зміненій місцевості часто прийдеться обходити різні перешкоди і визначати своє місце розташування по залишках зруйнованих місцевих предметів. Широке застосування в цих умовах знайде наземна навігаційна апаратура.

*Орієнтування вночі* найбільше складно через обмежену видимість. При плануванні здійснення маршруту вночі маршрут вибирають так, щоб він проходив по дорогах або уздовж яких-небудь лінійних місцевих предметів. Контрольні оріє-

нтири на маршруті намічають на більш близьких відстанях один від одного, чим при русі вдень.

Своє місце розташування на карті в русі визначають найчастіше по пройденій відстані, відкладаючи його від вихідного пункту або контрольного орієнтира по напрямку руху.

При плануванні руху поза дорогами попередньо готують дані для руху по азимутах. Повороти маршруту намічають по орієнтирах, які можна легко пізнати вночі. До таких орієнтирів відносяться озера, ставки, дзеркальна поверхня яких добре помітна на темному тлі навколишньої місцевості, а також заводські труби, вежі, окремі вершини, що виділяються на тлі нічного неба.

Маршрут на карті піднімають яскравіше, ніж для руху вдень, щоб його було видно при слабкому освітленні. Карта під час руху освітлюється ліхтариком із синім світлофільтром. Таке світло менше засліплює очі, дозволяє працювати з картою і вести спостереження за місцевістю.

Найкращому орієнтуванню в нічному бою сприяє попередня робота з картою, по якій детально вивчається район бойових дій, запам'ятовується взаємне положення великих місцевих предметів, їхня назва, напрямок плину рік і струмків. Особливо чітко варто представляти точку на карті, з якої почнуться дії вночі. Від цієї точки запам'ятовують напрямки і відстані до потрібних орієнтирів і різних об'єктів місцевості. Усе це дозволяє при необхідності скласти по пам'яті картину навколишньої місцевості.

**Відновлення загубленого орієнтування.** При діях на незнайомій місцевості можуть бути випадки, коли через недостатні навички в роботі з картою орієнтування буде загублено. Перша ознака втрати орієнтування — на місцевості не знаходять об'єктів, позначених на карті, і не можуть визначити на ній хоча б приблизно своє місце розташування. Для відновлення орієнтування треба спробувати знайти на



карті своє місце розташування шляхом звірення карти з місцевістю, попередньо зорієнтувавши карту по сторонах горизонту.

Якщо шляхом звірення карти з місцевістю відновити орієнтування важко, можна скористатися такими способами.

*Графічне визначення на карті району місцезнаходження.* На зорієнтованій карті від умовного знака останнього пройденого орієнтира, що був упевнено пізнаний, проводиться пряма, що відповідає напрямку останньої ділянки маршруту. Відклавши на прямій пройдену відстань від орієнтира, установлюють далеку границю району місця розташування. Їого ближня границя визначається в межах  $3/4$  відстані, пройденій від останнього орієнтира. Наприклад (рис. 1.16), підрозділ, роблячи марш, досяг північної окраїни населеного пункту Осетер (показання спідометра 61,3).

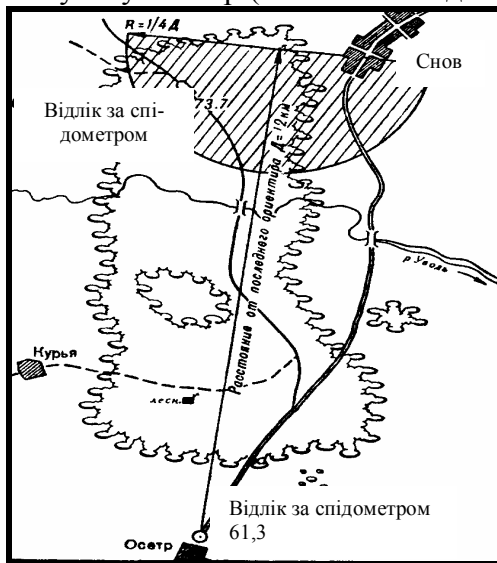


Рис. 1.16. Відновлення загубленого орієнтування в імовірному районі місцезнаходження

Потім, рухаючись до населеного пункту Снов, що в 12,4 км від пункту Осетер, як проміжний орієнтир був намічений міст через р. Уводь. Після 4 км шляху водій машини помилково звернув уліво на пугівець, на якому також виявився міст, прийнятий за намічений проміжний орієнтир. Коли на спідометрі з'явилася цифра 73,7, командир виявив утрату орієнтування. Судячи з пройденої відстані, підрозділ повинний був знаходитися в населеному пункті Снов, а фактично він виявився в лісі. Уточнивши по компасу середній напрямок руху від пункту Осетер, командир накреслив його на карті, відклавши на ньому пройдену відстань (12 км) і з отриманої точки обмежив передбачуваний район свого місцезнаходження радіусом 3 км (1/4 пройденого шляху). Після ретельного вивчення позначеного району була виявлена розвилка доріг — місце помилкового повороту з маршруту. Переконавшись, що підрозділ знаходиться на пугівці, позначеному на карті, нескладно визначити точку свого стояння, наприклад, по найближчій по ходу руху розвилці доріг і намітити шлях до кінцевого пункту або до виходу на маршрут.

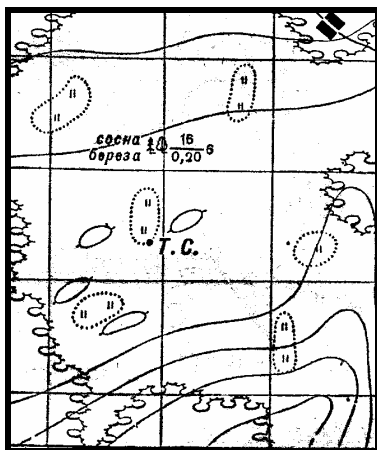


Рис. 1.17. Відновлення загубленого орієнтування по лінійному орієнтиру

*По лінійному орієнтуру.* Підрозділ, рухаючись по зарослій лісовій дорозі, не позначеній на карті, досяг лісової галявини (рис. 1.17. Т.С.). По пройденій відстані командир визначив імовірний район місцезнаходження підрозділу. На карті в цьому районі показано кілька схожих одна на одну галявин. Обмірюваний магнітний азимут напрямку галявини, на яку вийшов підрозділ, виявився рівним  $10^\circ$ . Таких галявин, витягнутих у напрямку по азимуті  $10^\circ$ , показано на карті три.

Командир уважно вивчив їх по карті й установив, що одна з галявин знаходиться в лощині, інша розташована в сідловині, а третя — на рівній ділянці місцевості. Ці особливості розташування галявин дозволили швидко розібратися в обстановці і визначити точку стояння (галявина в сідловині).

## Г л а в а 2

# ОСНОВИ РОБОТИ АВТОНОМНИХ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИБОРІВ ОДОМЕТРИЧНОГО ТИПУ

### 2.1. Класифікація навігаційних систем

Поняття "навігація" пішло від латинського слова "navigatio" - мореплавання. Таким чином, необхідність мореплавання зумовила розвиток цього напрямку в науці.

На сучасному етапі в широкому смислі під терміном "навігація" будемо розуміти теорію та практику визначення координат, відстаней та напрямів рухів у встановлений час.

Орієнтування на місцевості є визначення свого місцезнаходження відносно сторін світу або особливих об'єктів місцевості, дотримання заданого або вибраного напрямку руху, уявлення на місцевості орієнтирів, рубежів своїх військ, військ супротивника, інженерних споруд та інших об'єктів.

У військовій справі навігаційні завдання можуть вирішуватись у сферах використання систем озброєння та зброї: море, повітря, суша та космос.

Відповідно термін "навігація" отримав таке тлумачення залежно від сфери застосування зброї:

- на морі - навігація;
- у повітрі - аеронавігація;
- на суші - наземна навігація (орієнтування);
- у космосі - космічна навігація.

Незважаючи на сферу використання зброї, основною метою навігації є:

1. Визначення місцеположення об'єкта (свого, чужого).
2. Проведення необхідних розрахунків маневру. Визначення поправок, необхідних для своєчасного виходу в задану

точку, зустрічі з іншим об'єктом, забезпечення безпеки свого об'єкта.

3. Розробка та використання способів визначення координат, вимірювання напрямку та відстані дії.

Навігація та управління рухом об'єкта є єдиний процес - виконання цілеспрямованого пересування (руху) об'єктів у прийнятій системі відліку. Положення будь-якого об'єкта в просторі в даний момент часу може бути задане тільки по відношенню до іншого матеріального тіла. Таке положення може бути визначено трьома координатами ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ). Вони характеризують положення об'єкта у відношенні до базису і дозволяють розраховувати координати об'єкта. Ці параметри мають рацію у припущенні, що вибрана конкретна система координат.

Таким чином, численність сталих координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  та  $t$  (час) обов'язково повинні бути пов'язані з базисом.

У навігації маємо справу з рухом керованих об'єктів, положення яких описується також відносно визначеної системи відліку.

Рух керованого об'єкта в будь-якій системі відліку завжди буває цілеспрямованим, тобто він планується (розраховується траєкторія, швидкість, прискорення та напрям руху). У реальних умовах на тіло, яке рухається, діють різноманітні сили та моменти, що збурюють (детерміновані та випадкові).

Тому навігаційний процес у системах управління рухом складається з таких послідовних операцій, що виконуються:

вироблення та визначення необхідного закону руху об'єкта (тіла);

вимірювання характеристик дійсного руху об'єкта;

порівняння параметрів дійсного положення об'єкта з заданим та визначення відхилення;

вироблення керуючих сигналів (команд) та передача їх на виконавчі органи з метою виконання заданого закону руху.

Для розв'язання цих задач на сучасному етапі використовуються різноманітні технічні засоби.

Джерелом інформації для управління рухом центру маси об'єкта на його борту встановлюються різноманітні технічні засоби навігації. Виходячи з особливостей використання фізичного явища усі засоби навігації можна поділити на такі категорії:

- *механічні та електромеханічні* (дія цих приладів заснована на законах механіки та електромеханіки – механічні, гідравлічні та аеродинамічні лаги, тахометри, гіроскопічні компаси, інерціальні системи навігації та інше);

- *магнітні* (найстаріший та найпростіший представник є компас, який може використовуватися разом з гірокомпасом. Сучасні засоби - магнітометри);

- *радіотехнічні* (у цих засобах використовуються радіосигнали як носії навігаційної інформації. До них відносяться: радіонавігаційні системи, радіолокатори, радіовисотоміри, радіопеленгатори, доплерівські вимірювачі кутової швидкості та інші);

- *оптичні та квантово-оптичні* (оптичні секстанти, пеленгатори, світловіддалеміри, інфрачервоні пеленгатори, лазерні локатори та інші);

- *акустичні та гідроакустичні* (базуються на метричних властивостях акустичного поля, яке утворюється джерелом звуку в атмосфері або в гідросфері. Це гідроакустичні системи, гідролокатори, ехолоти, акустичні пеленгатори та інші);

- *радіаційні* (дія заснована на вимірюванні відстані до об'єкта, який випромінює гамма-частини, тобто – випромінювання).

Різноманітність засобів навігації пояснюється тим, що для різних фізичних умов необхідні найбільш придатні прилади.

На землі, морі та в повітрі постійно збільшується кількість керованих об'єктів, яким потрібне навігаційне забезпе-

чення – точне визначення свого місцезнаходження, курсу та швидкості руху. Із зростанням обсягу, оперативності та значимості транспортних задач підвищуються вимоги до навігаційного забезпечення. Вибір оптимальних маршрутів руху потребує частих навігаційних визначень з високою точністю в будь-який час незалежно від метеоумов та можливостей традиційних методів навігаційного забезпечення.

Сучасне навігаційне забезпечення повинно відповідати таким умовам:

глобальності — тобто можливості виконувати навігаційні визначення в будь-якій точці земної кулі в будь-яку годину доби незалежно від стану погоди;

оперативності - тобто можливості виконувати навігаційні визначення за час, який відраховується хвилинами або секундами;

точності навігаційних визначень — тобто забезпечити безпечний рух мобільних об'єктів.

В основі будь-якого методу навігаційного забезпечення різноманітних об'єктів лежить вимірювання їх місцезнаходження відносно будь-яких орієнтирів, координати яких відомі. У традиційних методах астронавігації як орієнтири використовуються Сонце, Місяць та зірки, у методах наземної радіонавігації — радіомаяки з фіксованими відомими координатами, у магнітних методах — полюси Землі.

За своїм принципом дії системи навігації можна умовно поділити на такі групи:

1. Інерціальні навігаційні системи: інерціальні навігаційні системи на гіростабілізованих платформах; безплатформенні інерціальні навігаційні системи.

2. Системи навігації одометричного типу.

3. Радіонавігаційні системи.

4. Супутникові (космічні) навігаційні системи.

5. Комплексні навігаційні системи.

## **2.2. Принцип роботи навігаційної апаратури Сухопутних військ**

У складній динамічній обстановці сучасного бою навіть тимчасова втрата орієнтування приводить до порушення взаємодії між підрозділами, ставить під загрозу успішне виконання бойової задачі. Тому для надійного і швидкого орієнтування на місцевості по карті використовується навігаційна апаратура, якою оснащені багато видів бойових і спеціальних машин. Вона використовується головним чином при діях підрозділів на місцевості, бідній орієнтирами, наприклад у пустелі, степу, лісі, а також при недостатній видимості (вночі, у туман, заметіль і т.п.).

Навігаційна апаратура Сухопутних військ призначена для підвищення ефективності дій частин і підрозділів Сухопутних військ при вирішенні різних тактичних задач в умовах складного орієнтування. У сучасному бою підрозділи і частини вирішують бойові задачі із широким використанням маневру як по фронту, так і в глибину, що збільшує питому вагу маршів у їх бойовій діяльності. Вони роблять пересування переважно вночі або в умовах обмеженої видимості, як правило, на незнайомій місцевості. У зв'язку з цим різко зростає роль і значення керування підрозділами і частинами з метою забезпечення своєчасного і точного виходу їх у призначені райони.

Звичайні способи орієнтування на місцевості в складних умовах (ніч, туман, лісова і пустельна місцевість, слабо розвинута дорожня мережа і т.п.) шляхом порівняння місцевих предметів і орієнтирів з їх зображенням на карті викликають утруднення і не завжди забезпечують точне орієнтування і своєчасне виконання бойових задач. У таких умовах орієнтування з об'єкта на місцевості найкраще здійснюється при використанні навігаційної апаратури. Наявність її дозволяє командирам і штабам:

упевнено вести розвідку супротивника на велику глиби-



ну;

прокладати колонні шляхи на незнайомій місцевості;

у будь-який момент часу знати місце розташування бойових порядків підрозділів на марші, у наступальному або оборонному бою;

визначати шляхи евакуації і збору ушкодженої техніки на збірний пункт ушкоджених машин при організації технічного забезпечення й інші задачі.

Для рішення цих задач ряд об'єктів бронетанкового озброєння і техніки, залежно від їх тактичного призначення, оснащується навігаційною апаратурою.

Навігаційна апаратура складається з навігаційних приладів і допоміжних приладів і пристроїв. У військах застосовуються такі навігаційні прилади й апаратура:

гіронапівкомпас (ГПК-59);

навігаційна апаратура (ТНА-3, курсопрокладник КП-2М1 з гірокурсовказівником КМ-2, ТНА-4 та інші).

Допоміжні прилади і пристрої, що включають у себе візирні, кутомірні й інші прилади і пристрої, а також вимірвальний інструмент, призначені для підготовки вихідних даних. Як допоміжні прилади використовуються як спеціальні прилади і пристрої, наприклад бусоль ПАБ-2А та гірокомпас, так і деякі прилади і пристрої об'єкта, наприклад приціл, азимутальний покажчик і т.п.

Навігаційна апаратура після введення в неї вихідних даних автоматично виробляє навігаційну інформацію про місце розташування рухомого об'єкта і напрямок його руху.

Місце розташування об'єкта характеризується плоскими прямокутними геодезичними координатами  $X(t)$  і  $Y(t)$ , а напрямок руху - дирекційним кутом  $\alpha(t)$ . Дирекційним кутом об'єкта називається кут між північним напрямком вертикальної лінії сітки топографічної карти і подовжньою віссю об'єкта (умовною лінією, що збігається по напрямку з вектором швидкості руху об'єкта вперед по прямолінійній горизонта-

льній ділянці). Навігаційна інформація може відображатися стрілочними і цифровими індикаторами або безпосередньо нанесенням на карту пройденого маршруту.

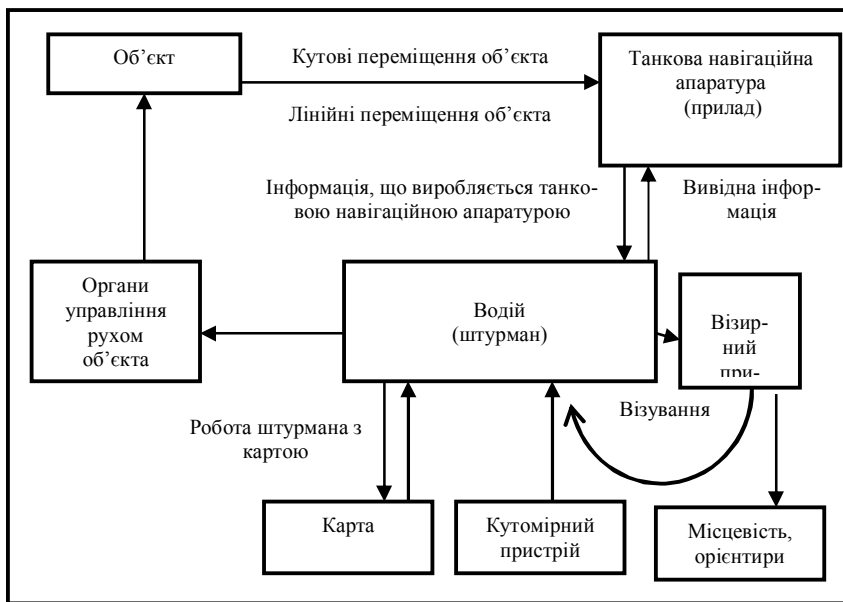


Рис. 2.1. Принципова схема навігаційного керування об'єктом бронетанкового озброєння і техніки

На рис. 2.1 показана принципова схема навігаційного керування об'єктом. Цей процес зводиться до наступного:

оператор (командир), використовуючи візорні і кутомірні пристрої, орієнтири на місцевості і карту, підготовляє вихідні дані, які вводить у навігаційну апаратуру;

у процесі руху об'єкта навігаційна апаратура автоматично визначає його лінійні і кутові переміщення і виробляє навігаційну інформацію, що враховується командиром (водієм) при виборі подальшого маршруту руху.

На рис. 2.2 показана функціональна схема навігаційної апаратури, принцип роботи якої полягає в тому, що за допомогою датчиків первинної інформації вимірюються фізичні

параметри, що визначають переміщення об'єкта щодо землі і місцевих предметів. Пристрої обробки інформації на основі отриманих сигналів визначають навігаційні параметри, що характеризують координати місця розташування об'єкта щодо прийнятої системи відліку.

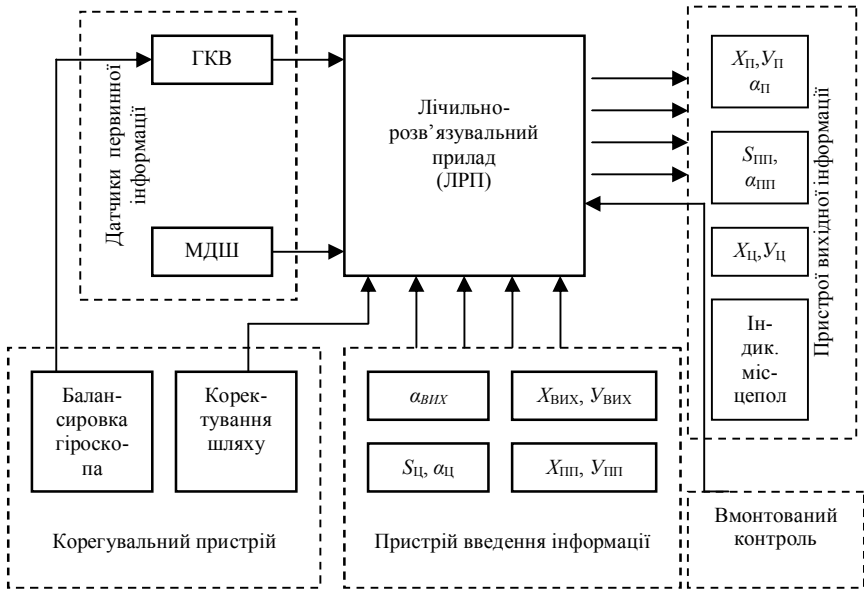


Рис. 2.2. Функціональна схема навігаційної апаратури:  
ГКВ - гірокурсовказівник; МДШ - механічний датчик швидкості

Навігаційна апаратура в повному обсязі або частково вирішує ряд навігаційних задач:

перша навігаційна задача — визначення плоских прямокутних координат  $X$  і  $Y$  місця розташування рухомого об'єкта і його дирекційного кута  $\alpha$ ;

друга навігаційна задача — визначення дирекційного кута на пункт призначення  $\alpha_{пп}$  і дальності  $S_{пп}$  до нього;

третья навігаційна задача — визначення плоских прямокутних координат цілі  $X_{ц}$  і  $Y_{ц}$  по відомих плоских прямокутних координатах об'єкта, дальності до цілі і дирекційному

куту на ціль.

У випадках, коли кутові результати розв'язання першої і другої навігаційних задач індицируються на одному шкальному приладі, автоматично вирішується задача визначення кута і знака відхилення об'єкта від заданого напрямку руху, тобто вирішується задача визначення курсового кута  $\alpha_{\text{кк}}$  об'єкта (рис. 2.4,а).

Під курсовим кутом розуміється кут між напрямком на пункт призначення і подовжньою віссю об'єкта, відлічуваний вправо (+) і вліво (—) від напрямку на пункт призначення.

### *Перша навігаційна задача*

Для розв'язування першої навігаційної задачі використовуються параметри руху об'єкта: швидкість і дирекційний кут. Принцип визначення координат  $X$  та  $Y$  місця розташування об'єкта при його русі по горизонтальній ділянці зводиться до наступного.

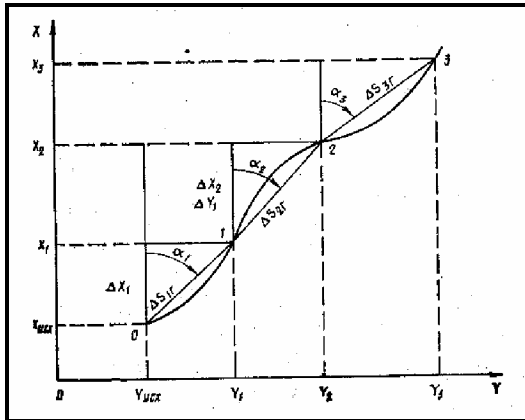


Рис. 2.3. Розв'язання першої навігаційної задачі

Припустимо, що об'єкт пересувається з точки  $O$  (рис. 2.3) до точок 1, 2 і т.д. За дуже малий проміжок часу  $\Delta t$  можна

думати, що швидкість  $v$  об'єкта і його дирекційний кут  $\alpha$  залишаються незмінними. При цій умові криволінійний шлях об'єкта можна замінити прямолінійними ділянками  $\Delta S_{1Г}$ ,  $\Delta S_{2Г}$  і т. д. Збільшення координат  $\Delta X$  і  $\Delta Y$  на цих ділянках будуть рівні:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X_1 &= v_1 \Delta t_1 \cos \alpha_1 = \Delta S_1 \cos \alpha_1; \\ \Delta X_2 &= v_2 \Delta t_2 \cos \alpha_2 = \Delta S_2 \cos \alpha_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta X_n &= v_n \Delta t_n \cos \alpha_n = \Delta S_n \cos \alpha_n. \\ \sum_{i=1}^n \Delta X_i &= \sum_{i=1}^n v_i \Delta t_i \cos \alpha_i = \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cos \alpha_i \\ \text{та} \\ \Delta Y_1 &= v_1 \Delta t_1 \sin \alpha_1 = \Delta S_1 \sin \alpha_1; \\ \Delta Y_2 &= v_2 \Delta t_2 \sin \alpha_2 = \Delta S_2 \sin \alpha_2; \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta Y_n &= v_n \Delta t_n \sin \alpha_n = \Delta S_n \sin \alpha_n. \\ \sum_{i=1}^n \Delta Y_i &= \sum_{i=1}^n v_i \Delta t_i \sin \alpha_i = \sum_{i=1}^n \Delta S_i \sin \alpha_i \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Координати об'єкта в будь-який момент можуть бути отримані алгебраїчним підсумовуванням вихідних координат  $X_{\text{вих}}$  і  $Y_{\text{вих}}$  зі збільшеннями координат  $\sum \Delta X_i$  і  $\sum \Delta Y_i$ , тобто

$$\left. \begin{aligned} X &= X_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n \Delta X_i = X_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cos \alpha_i; \\ Y &= Y_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n \Delta Y_i = Y_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n \Delta S_i \sin \alpha_i. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

З приведених формул випливає, що для розв'язування першої навігаційної задачі необхідно:

безупинно вимірювати швидкість  $v$  руху об'єкта або відповідне їй збільшення шляху  $\Delta S = v \Delta t$ ;

безупинно вимірювати дирекційний кут  $\alpha$  об'єкта, що ру-

хається;

обчислювати тригонометричні функції  $\sin\alpha$  і  $\cos\alpha$  дирекційного кута об'єкта;

алгебраїчно підсумовувати збільшення координат  $\Delta X$  і  $\Delta Y$  як відповідний добуток  $\Delta S_i \sin\alpha$  і  $\Delta S_i \cos\alpha$ ;

підсумовувати отримані збільшення координат з координатами вихідної точки;

реєструвати поточні координати і поточний дирекційний кут, а при необхідності і пройдений об'єктом шлях.

Таким чином, вхідною інформацією для розв'язування першої навігаційної задачі є швидкість об'єкта, його дирекційний кут і координати вихідної точки; вихідною інформацією - поточні координати і дирекційний кут об'єкта. У деяких випадках на спеціальному планшеті викреслюється або відображається на топографічній карті траєкторія шляху, пройденого об'єктом на місцевості.

### *Друга навігаційна задача*

Вихідними даними для розв'язування другої навігаційної задачі є координати  $X_{\text{пн}}$  і  $Y_{\text{пн}}$  пункту призначення і поточні координати  $X_{\text{п}}$  і  $Y_{\text{п}}$  об'єкта.

При наявності на об'єкті апаратури, що вирішує першу навігаційну задачу, представляється можливим визначити дирекційний кут  $\alpha_{\text{пн}}$  на пункт призначення і дальність  $S_{\text{пн}}$  до нього. Принцип розв'язання другої навігаційної задачі (рис. 2.4, а) зводиться до наступного.

З прямокутного трикутника  $ABC$  дальність до пункту призначення  $S_{\text{пн}}$  і дирекційний кут  $\alpha_{\text{пн}}$  на нього визначаються зі співвідношень:

$$S_{\text{пн}} = \sqrt{\Delta X_{\text{пн}}^2 + \Delta Y_{\text{пн}}^2}$$

$$\text{та } \alpha_{\text{пн}} = \arctg \frac{\Delta Y_{\text{пн}}}{\Delta X_{\text{пн}}}. \quad (2.3)$$

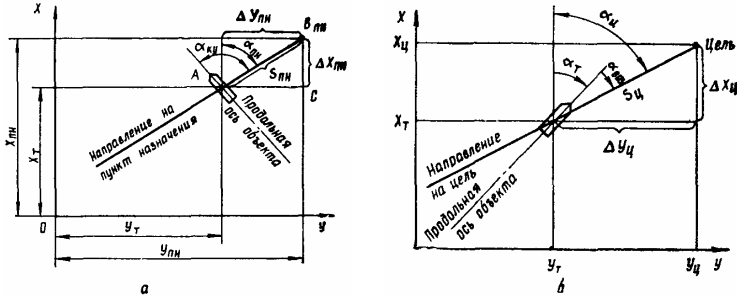


Рис. 2.4. Розв'язування другої навігаційної задачі:  
 а - схема взаємного розташування об'єкта і пункту призначення;  
 б - схема взаємного розташування об'єкта і цілі

У деяких випадках друга задача вирішується не в повному обсязі, а обмежується визначенням  $\alpha_{\text{ПП}}$  і збільшень по координатних осях  $\Delta X_{\text{ПП}}$  і  $\Delta Y_{\text{ПП}}$  від об'єкта до пункту призначення.

### Третя навігаційна задача

Необхідність розв'язання третьої навігаційної задачі виникає на об'єктах, що призначені для ведення розвідки і визначення координат виявлених цілей. Вхідними даними для розв'язання цієї задачі є дальність до цілі  $S_{\text{Ц}}$  і кут візування  $\alpha_{\text{ВіЗ}}$  на неї. Знаючи поточні координати об'єкта  $X_{\text{П}}$  і  $Y_{\text{П}}$  і його дирекційний кут  $\alpha_{\text{П}}$ , представляється можливим визначити координати  $X_{\text{Ц}}$  і  $Y_{\text{Ц}}$  цілі по куту візування  $\alpha_{\text{ВіЗ}}$  на ціль і дальність  $S_{\text{Ц}}$  до неї.

У цьому випадку (див. рис. 2.4, б)

$$X_{\text{Ц}} = X_{\text{П}} + \Delta X_{\text{Ц}} = X_{\text{П}} + S_{\text{Ц}} \cos \alpha_{\text{Ц}}; \quad (2.4)$$

$$Y_{\text{Ц}} = Y_{\text{П}} + \Delta Y_{\text{Ц}} = Y_{\text{П}} + S_{\text{Ц}} \sin \alpha_{\text{Ц}},$$

де  $\alpha_{\text{Ц}}$  — дирекційний кут цілі, рівний

$$\alpha_{\text{Ц}} = \alpha_{\text{П}} + \alpha_{\text{ВіЗ}} \quad \text{при} \quad \alpha_{\text{П}} + \alpha_{\text{ВіЗ}} < 60 - 00 \quad \text{або}$$

$$\alpha_{\text{Ц}} = \alpha_{\text{П}} + \alpha_{\text{ВіЗ}} - (60 - 00) \quad \text{при} \quad \alpha_{\text{П}} + \alpha_{\text{ВіЗ}} > 60 - 00.$$

Для визначення дальності до цілі і кута візування на ціль

використовуються спеціальні прилади і пристрої (квантовий або оптичний далекомір, візирні і кутомірні пристрої), що входять до складу устаткування об'єкта.

### **2.3. Основи побудови навігаційної апаратури**

Більшість комплектів навігаційної апаратури (див. рис. 2.2) складається з наступних основних груп приладів і пристроїв:

- датчиків первинної інформації;
- лічильно-розв'язувальних приладів;
- коригувальних пристроїв;
- пристрою введення інформації;
- пристрою вихідної інформації;
- пристрою вмонтованого контролю;
- блоків живлення.

Датчики первинної інформації перетворюють лінійні і кутові переміщення об'єкта в електричні сигнали. Ці прилади підрозділяються на дві групи: групу гірокурсовказівників (ГКВ) і групу механічних датчиків швидкості (МДШ).

У навігаційній апаратурі одометричного типу як гірокурсовказівник застосовується триступеневий гіроскопічний прилад, що виробляє електричний сигнал, пропорційний зміні дирекційного кута об'єкта.

Механічні датчики швидкості електромеханічного або електронного типу призначені для вироблення електричного сигналу, пропорційного шляху і швидкості об'єкта.

Лічильно-розв'язувальні прилади (ЛРП) призначені для обробки сигналів датчиків первинної інформації з заданих алгоритмів.

Коригувальні пристрої служать для компенсації похибок, що виникають при роботі датчиків первинної інформації.

Пристрій введення інформації служить для введення вихідних даних, необхідних для роботи навігаційної апаратури.



Пристрій вихідної інформації служить для автоматичного відображення вироблюваної в ЛРП навігаційної інформації.

Вмонтований контроль забезпечує перевірку справності основних систем, вузлів і приладів навігаційної апаратури і її готовності до роботи.

Блоки живлення (на рис. 2.2 не показані) забезпечують електроживленням прилади навігаційної апаратури.

Розв'язання всіх трьох навігаційних задач виробляється різними за принципом дії і конструкції приладами, складовими частинами й елементами навігаційної апаратури.

### *Основні складові частини та елементи навігаційної апаратури*

В основі навігаційних приладів використана властивість швидкообертового вовчка — зберігати незмінним напрямок осі обертання в просторі. На такому принципі працює спеціальний пристрій — гіроскоп, основна частина гірокурсказівника. Такі прилади не піддаються впливу магнітного поля Землі, стійко працюють у районах магнітних аномалій і в широтах, де часто відбуваються магнітні бурі.

*Гірокурсказівник* — прилад одометричної наземної навігаційної апаратури з гіроскопічним чуттєвим елементом, призначений для вироблення інформації про зміну дирекційного кута об'єкта. Як чуттєвий елемент використовується гіроскоп із трьома ступенями волі. Під гіроскопом розуміється важкий симетричний маховик, що обертається з великою частотою, одна з точок якого нерухома.

Для забезпечення свободи обертання ротора гіроскопа навколо нерухомої точки застосовують карданний підвіс, що складається з двох рамок 2 (рис. 2.5) і 3. Ротор 1 гіроскопа з великою кутовою швидкістю  $\omega$  обертається навколо осі  $X-X$ , що називається головною віссю гіроскопа. Головна вісь установлена у внутрішній рамці 2, що може повертатися на-

вколо осі  $Y-Y$  відносно зовнішньої рамки 3. Зовнішня рамка разом із внутрішньою і ротором може повертатися навколо осі  $Z-Z$  відносно основи 4. Осі  $X-X$ ,  $Y-Y$  і  $Z-Z$  перпендикулярні і перетинаються в одній точці  $O$ , що є нерухомою.

Карданний підвіс забезпечує ротору гіроскопа вільність обертання щодо трьох осей, тому гіроскоп, встановлений у карданному підвісі, називають гіроскопом із трьома ступенями свободи, або свободним. Вільним називається такий гіроскоп, у якого сума моментів зовнішніх сил по будь-якій його осі дорівнює нулю. Якщо центр ваги гіроскопа збігається з точкою перетинання осей карданного підвісу, то такий гіроскоп називається урівноваженим (астатичним).

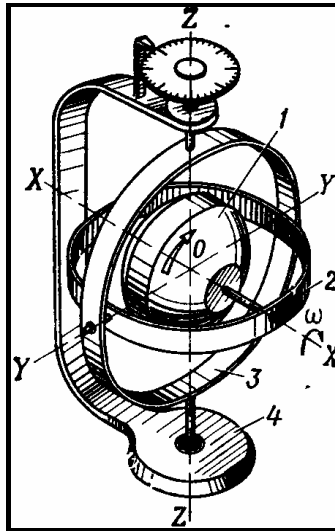


Рис. 2.5. Схема гіроскопа з трьома ступенями свободи:  
1 - ротор, 2 - внутрішня рамка, 3 - зовнішня рамка, 4 - основа

Астатичний гіроскоп володіє двома основними властивостями.

*Перша властивість.* Головна вісь вільного гіроскопа прагне утримати незмінним свій напрямок у інерційному

просторі. Це означає, що якщо головна вісь гіроскопа спрямована на яку-небудь зірку, то при будь-яких переміщеннях основи, на якій встановлений гіроскоп, вона буде незмінно вказувати на цю зірку, змінюючи свою орієнтацію в системі координат, зв'язаній з Землею.

Ця властивість забезпечується так званим гіроскопічним моментом  $M_G$ , що визначається за формулою

$$M_G = I_G \Omega \omega \sin \beta, \quad (2.5)$$

де  $I_G$ —полярний момент інерції ротора гіроскопа;  
 $\Omega$ —кутова швидкість обертання ротора гіроскопа;  
 $\omega$ —кутова швидкість прецесії гіроскопа (рис. 2.9);  
 $\beta$ —кут між головною віссю гіроскопа і віссю  $Z-Z$ .

Полярний момент інерції гіроскопа  $I_G$  залежить від маси гіроскопа і квадрата його радіуса.

Для збільшення гіроскопічного моменту, а отже і ефективності прояву першої властивості, в існуючих конструкціях гіроскопів ротор виконують у виді важкого маховика, центр маси якого якнайдалі віддалений від його осі.

Найчастіше як обертовий маховик у гіроскопах використовують ротор гіромотора.

Гіромотор являє собою асинхронний електродвигун, що працює від джерела перемінного трифазного струму підвищеної частоти.

У пазах статора 2 прокладені три обмотки, з'єднані «зіркою». При проходженні по обмотках статора трифазного змінного струму виникає обертове магнітне поле, під дією якого в короткозамкнутих витках ротора виникають струми, що створюють своє магнітне поле. Магнітне поле ротора, взаємодіючи з обертовим магнітним полем статора, змушує обертатися ротор гіроскопа. Підвищена частота струму джерела живлення, що забезпечує високу частоту обертання ротора, і спеціальне конструктивне оформлення гіромотора дозволяють одержати високий гіроскопічний момент  $M_G$ .

Оскільки головна вісь гіроскопа зберігає незмінним пер-

вісне положення у світовому просторі, то стосовно земних орієнтирів з часом спостерігається поворот головної осі гіроскопа. Швидкість повороту головної осі гіроскопа щодо земних орієнтирів залежить від географічної широти місця перебування гіроскопа і напрямку його головної осі. Цей поворот осі гіроскопа є позірним, він відбувається внаслідок обертання Землі навколо своєї осі (добового обертання).

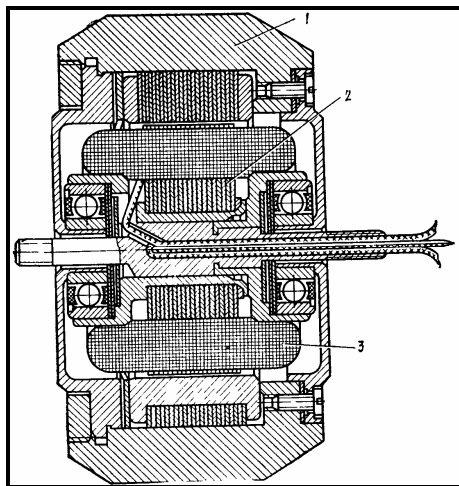


Рис. 2.6. Гіромотор:  
1 - ротор, 2 - статор, 3 - обмотка

Простежимо, як буде відбуватися позірний поворот головної осі гіроскопа в різних характерних точках Землі: на Північному полюсі, на екваторі і на проміжній широті північної півкулі.

#### *Гіроскоп установлений на Північному полюсі*

Головна вісь  $X-X$  (рис. 2.7, *a*) гіроскопа знаходиться в площині обрію і спочатку збігається з напрямком меридіана  $A$ .

Через деякий проміжок часу в результаті добового обер-

тання Землі цей меридіан займе положення  $A_1$ , тобто повернеться на кут  $\beta$ , а головна вісь гіроскопа не змінить свого напрямку. Спостерігачу, що знаходиться на Північному полюсі, буде здаватися, що головна вісь гіроскопа повернулася в горизонтальній площині на кут  $\beta$  у бік, протилежний напрямку обертання Землі. Поворот осі  $X-X$  на  $360^\circ$  здійсниться за 24 години. Отже, швидкість позірного повороту головної осі гіроскопа  $\omega_{\text{ор}}$  дорівнює швидкості обертання землі  $\omega_3$ . Тоді  $\omega_{\text{ор}} = \omega_3 = 15^0$  град/година.

### *Гіроскоп установлений на екваторі*

Головна вісь  $X-X$  (рис. 2.7, б) гіроскопа знаходиться в площині обрію і спрямована з півночі на південь (рівнобіжна меридіану). Ніякого удаваного повороту головної осі гіроскопа спостерігач не знайде ( $\omega_{\text{ор}} = 0$ ).

Головна вісь  $X-X$  (рис. 2.7, в) гіроскопа спочатку знаходиться в площині обрію і спрямована перпендикулярно меридіану (тобто в площині екватора). У результаті добового обертання Землі спостерігачу на екваторі буде здаватися, що східний кінець головної осі  $X-X$  буде підніматися над обрієм і через 6 годин займе вертикальне положення. Швидкість удаваного підйому головної осі  $X-X$  гіроскопа  $\omega_{\text{ор}}$  дорівнює швидкості обертання Землі  $\omega_3$ . Тоді  $\omega_{\text{ор}} = \omega_3 = 15^0$  град/година.

### *Гіроскоп установлений на проміжній широті $\varphi$ північної півкулі (загальний випадок)*

Допустимо, що в початковий момент головна вісь  $X-X$  (рис. 2.8) гіроскопа знаходиться в площині обрію і спрямована з півдня на північ, тобто уздовж меридіана. У результаті добового обертання Землі північний кінець головної осі гіроскопа буде повертатися до сходу щодо напрямку меридіана й одночасно підніматися над площиною горизонту. Швидкість  $\omega_{\text{ор.гор.}}$  позірного повороту головної осі гіроскопа в горизон-

тальній площині визначається вертикальною складовою вектора швидкості добового обертання Землі  $\omega_3$  верт на географічній широті  $\varphi$ .

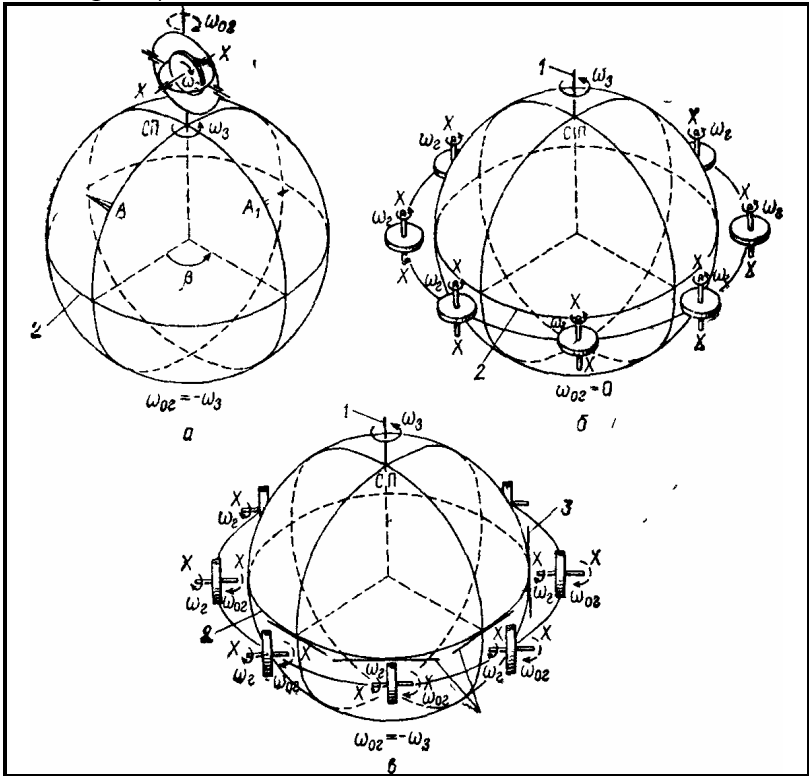


Рис. 2.7. Позірний рух вільного гіроскопа на полюсі і екваторі (гіроскоп умовно зображений без карданного підвісу)  
*a* - гіроскоп на Північному полюсі, його вісь  $X-X$  збігається з напрямком меридіана  $A$ ; *б* - гіроскоп на екваторі, його вісь  $X-X$  збігається з напрямком меридіана; *в*-гіроскоп на екваторі, його вісь  $X-X$  збігається з екватором; ПП - Північний полюс; 1 - вісь обертання Землі; 2 - екватор; 3 - лінія горизонту;  $\omega_3$  - кутова швидкість удаваного повороту Землі;  $\omega_r$  - кутова швидкість удаваного повороту ротора гіроскопа;  $\omega_{0r}$  - кутова швидкість удаваного повороту головної осі гіроскопа в горизонтальній площині

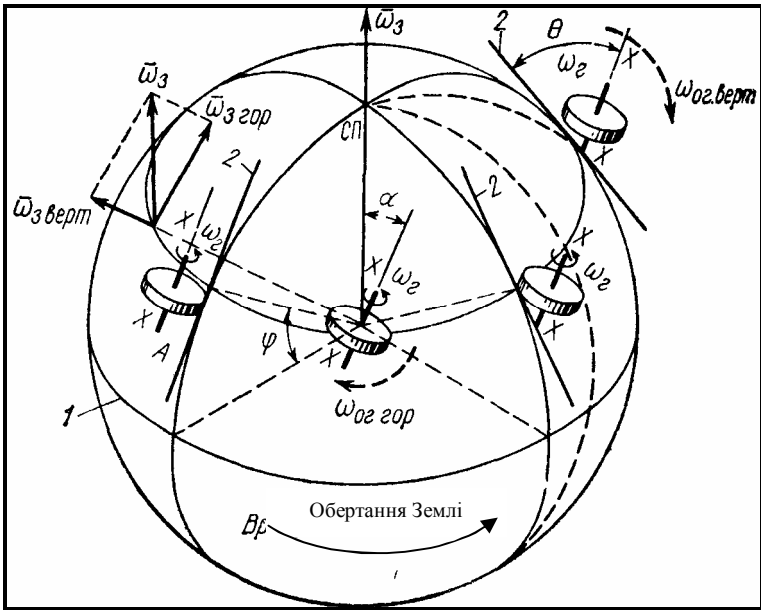


Рис. 2.8. Позірний рух гіроскопа на проміжній широті:

1 - екватор; 2 - лінія горизонту;  $\alpha$  - кут позірного повороту головної осі  $X - X$  гіроскопа;  $\theta$  - кут удаваного повороту головної осі  $X - X$  гіроскопа у вертикальній площині;  $A$  - первісне положення гіроскопа ( $\alpha = 0$ ,  $\theta = 0$ );  $\varphi$  - широта;  $\omega_3$  - кутова швидкість позірного повороту Землі;  $\omega_{3 \text{ гор}}$  - кутова швидкість позірного повороту Землі в горизонтальній площині;  $\omega_{3 \text{ верт}}$  - кутова швидкість позірного повороту Землі у вертикальній площині;  $\omega_r$  - кутова швидкість позірного повороту ротора гіроскопа;  $\omega_{ог \text{ гор}}$  - кутова швидкість позірного повороту головної осі гіроскопа в горизонтальній площині;  $\omega_{ог \text{ верт}}$  - кутова швидкість позірного повороту головної осі гіроскопа у вертикальній площині; ПП — Північний полюс

Швидкість  $\omega_{ог \text{ верт}}$  повороту цієї ж осі у вертикальній площині визначається горизонтальною складовою вектора швидкості добового обертання Землі  $\omega_{ог \text{ гор}}$  на тій же географічній широті  $\varphi$ . З цього випливає, що для перетворення вільного астатичного гіроскопа в показчик напрямку щодо земних орієнтирів необхідно компенсувати вплив на гіроскоп обертання Землі, тобто усунути позірний поворот головної осі гіроскопа навколо вертикальної осі (по азимуту) і утри-

мувати головну вісь у площині обрїю. В існуючих гірокурсовказівниках ці задачі вирішуються відповідно азимутальним і горизонтуючим коригувальними пристроями.

Робота обох пристроїв заснована на *другій властивості* гіроскопа — прецесії. Ця властивість зводиться до наступного. Під дією зовнішньої сили, яка прикладена до внутрішньої або зовнішньої рамки карданного підвісу і створює момент, що не збігається по напрямку з головною віссю гіроскопа, остання буде повертатися не по напрямку дії прикладеної сили, а в перпендикулярному напрямку. Причому прецесійний рух відбувається з постійною кутовою швидкістю.

Якщо до внутрішньої рамки гіроскопа прикласти в точці  $A$  (рис. 2.9) зовнішню силу  $F$ , що прагне повернути головну вісь гіроскопа навколо осі  $Y-Y$ , то головна вісь не змінить свого положення в напрямку прикладеної сили, тому що моменту сили  $F$  буде протидіяти гіроскопічний момент, а гіроскоп прийде в рух (почне прецесіювати) навколо вертикальної осі  $Z-Z$ .

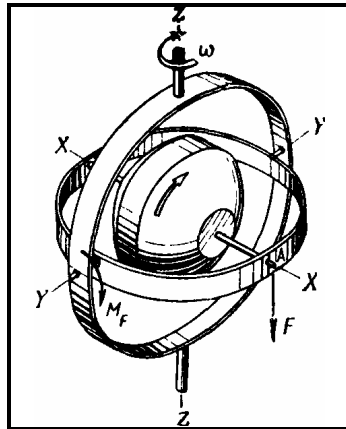


Рис. 2.9. Рух гіроскопа під дією зовнішньої сили (прецесія):  
 $F$  - сила, прикладена до внутрішньої рамки гіроскопа в точці  $A$ ;  
 $M_F$  - момент, який зумовлює прецесію зовнішньої рамки гіроскопа;  
 $\omega$  - кутова швидкість прецесії зовнішньої рамки гіроскопа



Для визначення напрямку прецесійного руху необхідно подумки повернути напрямок прикладеної сили на кут  $90^\circ$  у бік обертання ротора гіроскопа.

У даному прикладі напрямок дії сили  $F$  необхідно повернути по ходу руху годинникової стрілки; отже, під дією сили  $F$  головна вісь гіроскопа буде прецесіювати у горизонтальній площині по ходу годинникової стрілки з постійною кутовою швидкістю  $\omega$ .

Подібним же чином відбувається прецесійний рух головної осі гіроскопа у вертикальній площині (нахил внутрішньої рамки) при прикладанні зовнішньої сили до зовнішньої рамки.

Зі сказаного видно, що, знаючи напрямок обертання ротора гіроскопа і напрямок прикладеної зовнішньої сили, завжди можна визначити напрямок прецесії, і навпаки, по напрямку прецесійного руху — напрямок діючої сили. Швидкість прецесії залежить від конструктивних даних гіроскопа і величини прикладеного моменту зовнішньої сили.

Тепер, коли відомі основні властивості гіроскопа, перейдемо до розгляду принципу роботи азимутального і горизонтуючого коригувальних пристроїв гірокурсказівника.

### *Коригувальні пристрої*

Азимутальний коригувальний пристрій (азимутальний коректор) призначений для утримання головної осі гіроскопа нерухомо щодо земних орієнтирів по азимуту.

Для цього до внутрішньої рамки гіроскопа щодо осі  $Y-Y$  прикладають зовнішній момент такої величини і напрямку, щоб змусити прецесіювати гіроскоп навколо вертикальної осі в напрямку обертання Землі з кутовою швидкістю, що дорівнює кутовій швидкості  $\omega_{\text{ог гір}}$  удаваного повороту головної осі гіроскопа в горизонтальній площині на даній географічній широті. Зовнішній момент може створюватися зовнішньою силою, прикладеною до внутрішньої рамки гіроскопа,

або спеціальним моментним електричним двигуном, ротор якого встановлений на осі внутрішньої рамки. На рис. 2.10 зображена схема гіроскопа з механічним азимутальним коригувальним пристроєм, у якому для створення необхідного зовнішнього моменту щодо осі  $Y-Y$  використовується сила ваги  $F$  вантажу  $M$ , що переміщається по різьбленню в напрямку осі  $X-X$ . Вантаж  $M$  і плече  $l$  вибираються такими, щоб на заданій географічній широті ( $\varphi_0$ ) швидкість прецесії гіроскопа  $\omega_0$  під дією моменту  $M_0 = Fl$  дорівнювала б швидкості позірного повороту головної осі гіроскопа в горизонтальній площині  $\omega_{ог\ гip}$  на цій же широті  $\varphi_0$ .

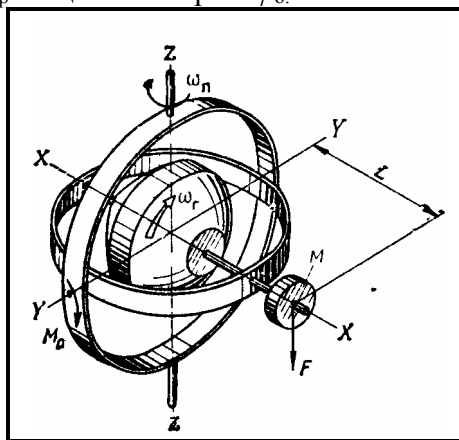


Рис. 2.10. Схема гіроскопа з механічним азимутальним коригувальним пристроєм:

$M$  - вантаж;  $\omega_p$  - кутова швидкість прецесії гіроскопа;  $\omega_r$  - кутова швидкість гіроскопа;  $F$  - сила ваги;  $M_0$  - момент прецесії;  $l$  — плече

З цього випливає, що при роботі гіроскопа на іншій географічній широті, відмінній від  $\varphi_0$ , для утримання осі гіроскопа по азимуту досить змінити довжину плеча  $l$ , на якому діє сила ваги  $F$  вантажу  $M$ , тобто досить перемістити вантаж  $M$  по різьбленню в необхідному напрямку.

На рис. 2.11 зображена схема гіроскопа, у якому як елемент, що створює зовнішній момент щодо осі  $Y-Y$ , викорис-

товується коригувальний електродвигун  $1$ , ротор якого закріплений на осі внутрішньої рамки, а статор зв'язаний із зовнішньою. Коригувальний електродвигун, працюючи в загальмованому режимі, створює необхідний момент  $M_{\text{ел}}$ , прикладений до внутрішньої рамки гіроскопа. Величина цього моменту може регулюватися зміною напруги за допомогою потенціометра широтного балансування  $2$ . Напряга живлення електродвигуна повинна змінюватися зі зміною географічної широти місця розташування гіроскопа.

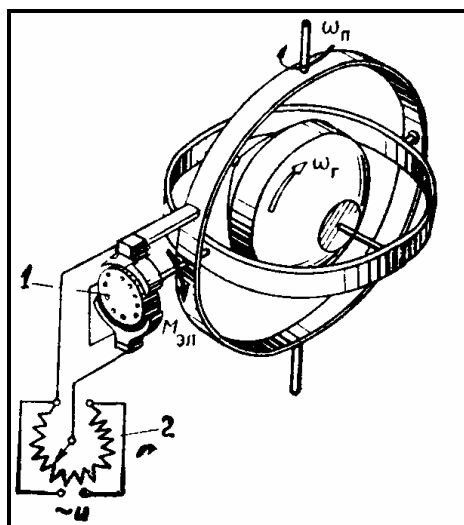


Рис. 2.11. Схема гіроскопа з електричним азимутальної коригувальним пристроєм:

$1$  - коригувальний електродвигун;  $2$  - потенціометр широтного балансування;  $\omega_p$  - кутова швидкість прецесії гіроскопа;  $\omega_g$  - кутова швидкість гіроскопа;  $M_{\text{ел}}$  - момент електродвигуна

Регулювання азимутального коректора для роботи на заданій географічній широті називається широтним балансуванням гіроскопа.

Азимутальні коректори, крім свого основного призначення - компенсації вертикальної складової вектора швидко-

сті добового обертання Землі - використовуються також для компенсації прецесійного руху гіроскопа, викликаного різними постійно діючими моментами, наприклад моментом сили ваги ротора гіроскопа при зсуві його центра ваги з точки перетинання осей  $X-X$ ,  $Y-Y$ ,  $Z-Z$  у результаті тривалої роботи приладу.

Горизонтуючий пристрій призначений для утримання головної осі гіроскопа, нерухомої в площині обрію. Зазначена компенсація здійснюється за допомогою горизонтальної корекції, що може бути двох типів: маятникової і міжрамочкової.

У першому випадку як чуттєвий елемент, що реагує на положення головної осі гіроскопа щодо площини обрію, служить фізичний маятник *1* (рис. 2.12, *a*), установлений на внутрішній рамці *2* гіроскопа.

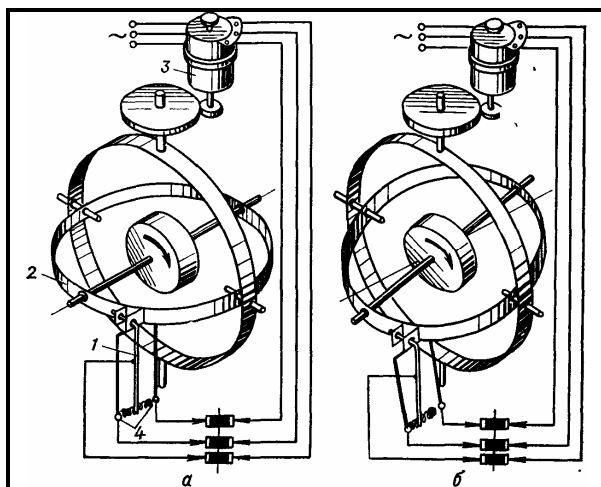


Рис. 2.12. Схема гіроскопа з горизонтуючим пристроєм маятникового типу:

*a* - головна вісь горизонтальна; *б* - головна вісь нахилена; *1* - фізичний маятник; *2* - внутрішня рамка гіроскопа; *3* - електродвигун корекції; *4* - контакти, зв'язані з внутрішньою рамкою

Маятникова горизонтальна корекція відбувається так: якщо головна вісь гіроскопа спочатку відхиляється від свого первісного горизонтального положення, як показано на рис. 2.12,б, то маятник *1*, зберігаючи вертикальне положення, замкне лівий (за схемою) контакт. У результаті буде подана напруга на обмотки електричного двигуна *3* горизонтальної корекції, ротор якого зв'язаний із зовнішньою рамкою гіроскопа, а статор — з нерухомою підставою (корпусом приладу). Таким чином, зовнішній момент, створюваний електродвигуном *3*, буде прикладений до зовнішньої рамки гіроскопа щодо осі *Z-Z*. Напрямок дії моменту вибирається таким, щоб прецесійний рух внутрішньої рамки, викликаний цим моментом, відбувалося у бік, зворотний нахилу головної осі гіроскопа. Прецесія внутрішньої рамки продовжується доти, поки головна вісь гіроскопа не займе горизонтальне положення, після чого контакти маятника розімкнуться і дія моменту припиниться. При нахилі головної осі в іншу сторону замикається правий (за схемою) контакт і зовнішній момент, створюваний електродвигуном *3*, змінює свій напрямок на протилежний. За аналогічною схемою працює горизонтуючий пристрій з рідинним маятниковим перемикачем.

Рідинний маятниковий перемикач являє собою мідну посудину *4* (рис. 2.13), герметично закриту кришкою *3*, у яку запресовані чотири (ізольовані від посудини й один від одного) контакти *1* і *2*. Посудина частково заповнена струмопровідною рідиною. Повітря, яке залишилося в посудині, утворює пухирець, що прагне зайняти верхнє положення. Розміри повітряного пухирця вибираються з таким розрахунком, щоб при горизонтальному положенні перемикача пухирець перекривав усі контакти приблизно наполовину (рис. 2.13,а). При цьому електричний опір між посудиною *4* і контактами *1* і *2* однаковий. Якщо головна вісь гіроскопа з перемикачем відхилиться від горизонтального положення (рис. 2.13,б), повітряний пухирець, прагнучи зайняти верхнє положення,

перекриє контакт *1* і тим самим ізолює його від рідини, а отже, і від посудини. У той же час контакт *2* буде цілком закритий рідиною й опір між посудиною і контактом буде мінімальним.

Таким чином, коли головна вісь гіроскопа горизонтальна, по обмотках керування течуть однакові струми і коректор не розвиває ніякого моменту. При нахилі гірокамери в одній з обмоток керування струм збільшується, а в іншій зменшується, що викликає появу моменту, прикладеного до зовнішньої рамки.

Під дією моменту головна вісь гіроскопа почне прецесувати у площині горизонту.

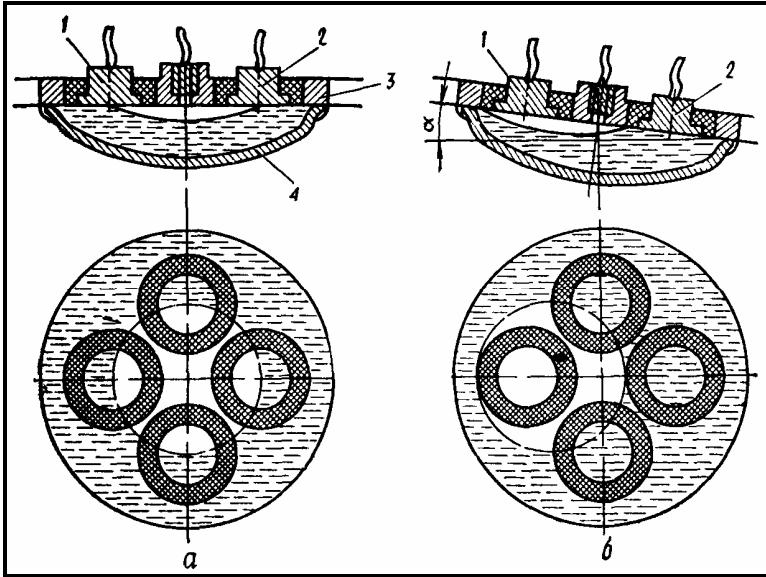


Рис. 2.13. Рідинний маятниковий перемикач:

*a* - положення повітряного пухирця при горизонтальному розташуванні головної осі гіроскопа; *б* - положення повітряного пухирця при нахилі головної осі гіроскопа; *1* і *2* - контакти; *3* - кришка; *4* - корпус (посудина);  $\alpha$  - кут відхилення корпусу маятникового перемикача від горизонтального положення

У найпростіших курсових гіроскопічних приладах застосовується міжрамкова горизонтальна корекція, що контролює положення головної осі не щодо горизонту, а щодо площини зовнішньої рамки. Цей тип корекції приводить вісь ротора гіроскопа до напрямку, перпендикулярного площині зовнішньої рамки. Робота міжрамкової горизонтальної корекції також заснована на властивості прецесії внутрішньої рамки гіроскопа під дією зовнішнього моменту, прикладеного до зовнішньої рамки. Горизонтуючі пристрої в гіроскопах компенсують не тільки вплив добового обертання Землі, але і вплив на внутрішню рамку моменту тертя в опорах вертикальної осі та інших збурювальних моментів.

У точних курсових гіроскопічних приладах крім азимутальної і горизонтальної корекцій установлюється температурний компенсатор. Необхідність його установки викликана тим, що при розігріві зміщується центр ваги ротора гіроскопа з точки перетинання осей карданного підвісу уздовж головної осі, у зв'язку з чим на внутрішній рамці від сили ваги ротора з'являється момент і, отже, прецесія рамки гіроскопа.

Температурний компенсатор (рис. 2.14) являє собою біметалічну пластинку, закріплену на внутрішній рамці гіроскопа, на кінцях якої є грузила. Біметалічна пластинка при розігріві гіроскопа згинається і переміщає грузила у бік, протилежний зсуву центра ваги ротора. Таким чином, положення центра ваги ротора гіроскопа залишається практично незмінним.

Головна вісь гіроскопа, будучи встановленою в площині обрїю довільно, при наявності коригувальних елементів повинна залишатися в цьому напрямку протягом тривалого часу. Однак унаслідок не усунутих цілком сил тертя в кардановому підвісі і дії інших збурювальних сил, головна вісь гіроскопа поступово зміщається від заданого напрямку. Цей зсув осі гіроскопа від заданого напрямку з часом називається відходом гіроскопа, або дрейфом. Унаслідок відходу гіроскопа

з'являються випадкові і систематичні похибки, сума яких, як умовно приймають на практиці, росте пропорційно часу.

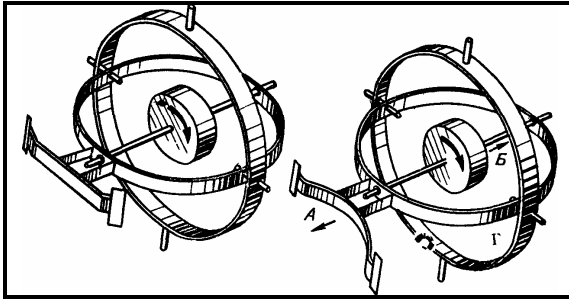


Рис. 2.14. Схема роботи температурного компенсатора:  
 А - напрямок переміщення грузила температурного компенсатора;  
 Б - напрямок переміщення центра ваги ротора гіроскопа

Таким чином, якщо гіроскоп установити в машині, то при будь-якому її повороті вісь обертового ротора завжди буде показувати визначений, заздалегідь установлений напрямок (рис. 2.15).

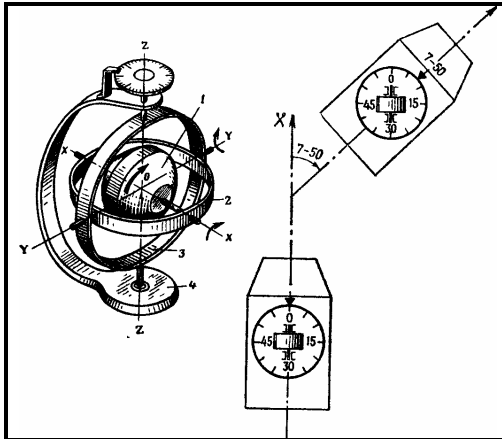


Рис. 2.15. Положення головної осі гіроскопа при повороті машини  
 1 - ротор; 2 - внутрішня рамка; 3— зовнішня рамка; 4— основа машини



Для компенсації похибки виміру шляху, пройденого об'єктом, у навігаційній апаратурі є пристрій коректури шляху. Принцип його роботи зводиться до наступного.

Шлях, пройдений об'єктом по місцевості в процесі руху, може бути визначений сумарним числом оборотів колеса, радіус якого  $R_k$  відомий. Якщо колесо, зв'язане з ґрунтом, обертається тільки при русі об'єкта, то пройдений шлях  $S$  за  $n_k$  оборотів колеса буде дорівнювати

$$S = 2\pi R_k n_k. \quad (2.6)$$

В існуючій навігаційній апаратурі зв'язок колеса з лічильно-розв'язувальним пристроєм забезпечується механічним датчиком швидкості. Однак при виміру швидкості або відповідного їй збільшення шляху ( $\Delta S = v\Delta t$ ) розглянутим методом неминучі похибки внаслідок пробуксовки або юза колеса по ґрунті. Крім пробуксовки і юза, абсолютна похибка виміру шляху обумовлюється ще деякими факторами, наприклад, зміною радіуса і кроку зчеплення ведучого колеса в гусеничних об'єктів, зміною тиску повітря в шинах у колісних машин, зміною рельєфу місцевості в процесі руху об'єкта й інших факторів. У результаті цього пройдений об'єктом шлях у  $K$  разів відрізняється від проекції цього шляху на горизонтальну площину. Отже, величину шляху, що надходить у лічильно-розв'язувальний прилад, необхідно змінити в  $K$  разів. У цьому випадку формули (2.2) визначення координат місцезнаходження об'єкта в будь-який момент часу приймуть вид:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_{ВНХ} + K \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cos \alpha_i; \\ Y &= Y_{ВНХ} + K \sum_{i=1}^n \Delta S_i \sin \alpha_i. \end{aligned} \right\} \quad (2.7)$$

Величина  $K$  називається коефіцієнтом коректури шляху.

У застосовуваних курсових гіроскопічних приладах гіроскопи не мають направляючого моменту, що автоматично орієнтував би гіроскоп у напрямку південь-північ (по мери-

діану), як у компасах, а тільки зберігають спочатку заданий їм напрямок. Тому такі гіроскопічні прилади називаються гіронапівкомпасами. Головною якісною характеристикою гіронапівкомпаса є найбільша величина відходу головної осі гіроскопа за одиницю часу. Іншими словами, точність показання гірокурсказівника характеризується числом градусів (поділів кутоміра) відходу головної осі гіроскопа за обрану одиницю часу, тобто швидкість дрейфу.

## РУХ НА МІСЦЕВОСТІ

### 3.1. Витримування напрямку руху на місцевості за компасом (рух за азимутами)

Рух за азимутами широко застосовується на місцевості, яка бідна орієнтирами: у лісі, вночі і при обмеженій видимості, а також на місцевості, яка зазнала значних змін під час бойових дій. Його сутність полягає у витримуванні під час руху заданого магнітним азимутом напрямку на місцевості і відстані по цьому напрямку. Напрямок витримують за допомогою компаса (гіронапівкомпаса), а відстані вимірюють кроками (по спідометру машини).

Для руху за азимутами заздалегідь по карті готують вихідні дані: магнітні азимути напрямків руху між точками повороту на маршруті і відстані між ними, що оформляють у виді схеми (рис. 3.1) або виписують у таблицю.

**Організація і порядок руху за азимутами.** При організації руху підрозділу за азимутами призначають двох направляючих, які визначають за компасом і витримують напрямок руху, слідуючи один за одним. Крім того, призначаються два чоловіки, що ведуть рахунок парам кроків. Якщо відстані на схемі (у таблиці) зазначені в метрах, їх переводять у пари кроків з урахуванням розміру кроку.

На точці № 1 (повітка, рис. 3.1) покажчик мушки компаса встановлюють на відлік  $115^\circ$  і відпускають гальмо магнітної стрілки. Потім компас повертають у горизонтальній площині доти, поки північний кінець стрілки не установиться проти нульового розподілу шкали. Візирна лінія через цілик і мушку при такому положенні компаса і буде визначати напрямок на точку № 2 (курган). Щоб витримати в шляху цей

напрямок на лінії візування, обирають який-небудь проміжний орієнтир, що використовують для витримування напрямку руху.

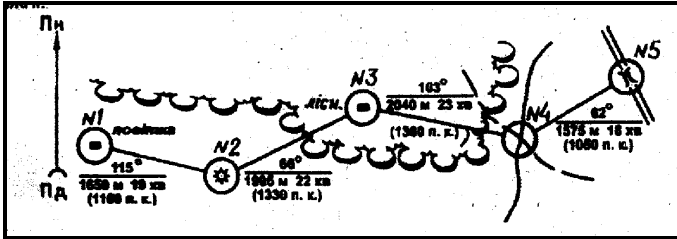


Рис. 3.1. Схема руху за азимутами

Перед початком руху стрілку компаса ставлять на гальмо. Рух роблять строго прямолінійно в напрямку наміченого проміжного орієнтира, при цьому ведуть рахунок парам кроків. У проміжного орієнтиру знову визначають по компасу напрямок, магнітний азимут якого дорівнює  $115^\circ$ , замічають який-небудь орієнтир на цьому напрямку і рухаються до нього. Таким способом пересуваються, поки не буде пройдено 1100 пар кроків. Якщо курган буде видний ще до підходу до нього, останню частину ділянки проходять без проміжних орієнтирів.

На точці № 2 по компасу визначають напрямок, азимут якого дорівнює  $66^\circ$ , замічають проміжний орієнтир і починають рух, ведучи рахунок парам кроків. Якщо проміжних орієнтирів на місцевості немає, наприклад у лісі, пустелі, степу, напрямок руху витримують тільки по компасу. На точці № 3 визначають напрямок, азимут якого дорівнює  $103^\circ$ , і рухаються в цьому напрямку до перехрестя доріг (точка № 4), ведучи рахунок парам кроків. Аналогічно рухаються і на точку № 5.

Таким чином, рух за азимутами відбувається шляхом послідовного переходу від одного орієнтира до іншого.

Щоб легше витримати напрямок руху, крім проміжних часто використовують допоміжні орієнтири. Такими орієнтирами служать звичайно небесні світила: Сонце, Місяць і яскраві зірки. При користуванні ними необхідно приблизно через 15 хв перевіряти азимут напрямку руху, тому що небесні світила (крім Полярної зірки) переміщуються по небосхилу. Якщо довго рухатися в їхньому напрямку без контролю, можна значно ухилитися від маршруту.

Для витримування напрямку руху використовують також лінійні орієнтири або сліди від руху бойових машин по піщаній місцевості.

Точність виходу до точок повороту маршруту при русі по азимутах залежить від характеру місцевості, умов видимості, помилок у визначенні напрямків по компасу й у вимірі відстаней. Відхилення від точки повороту, до якої треба було вийти, як правило, не перевищує  $1/10$  відстані, пройденої від попередньої точки повороту.

У деяких випадках, наприклад при русі по азимутах узимку на лижах, пройдені відстані вимірюють приблизно за часом і швидкістю руху. Щоб уникнути втрати орієнтування через неточний вимір відстаней, на точках повороту треба вибирати добре видимі орієнтири.

**Обхід перешкод.** При русі по азимутах можуть зустрічатися як природні, так і штучні перешкоди (мінні поля, лісові завали і т. д.), які легше обійти, чим подолати. Тому потрібно вміти обходити перешкоди, не втрачаючи орієнтування.

Порядок обходу залежить від розмірів і характеру перешкоди. Якщо протилежна сторона перешкоди видна (рис. 3.2, а), то в точці *A* записують кількість пройдених пар кроків. Потім замічають орієнтир (точку *B*) на протилежній стороні перешкоди по напрямку руху. Один із способів визначення відстані до наміченого орієнтира - перевести цю відстань у пари кроків і додати до раніше виміряної по маршруту відстані до точки *A*. Після цього обходять перешкоду по

його границі. У точці *B* по заданому азимуту знаходять потрібний напрямок і продовжують рух до чергової точки повороту маршруту.

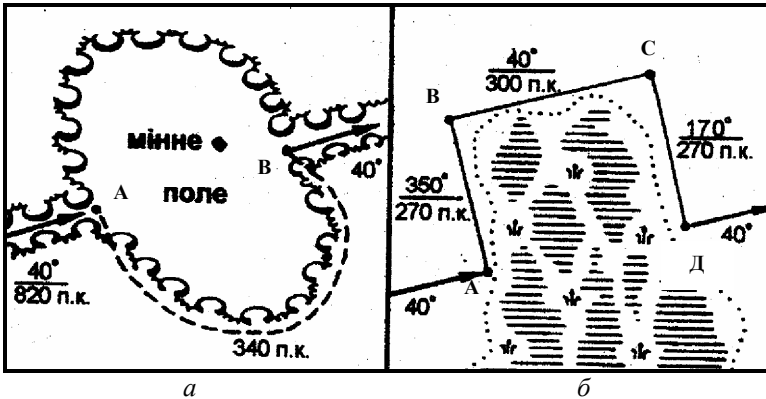


Рис. 3.2. Обхід перешкод:

- а* — протилежна сторона перешкоди видна;  
*б* — протилежна сторона перешкоди не видна

У деяких випадках замічений за перешкодою орієнтир (точка *B*) буває важко пізнати при підході до нього. Щоб проконтролювати правильність виходу до орієнтира, у точці *A* залишають яку-небудь замітку, наприклад ставлять віху, кілок або роблять зарубку на дереві. При виході в точку *B* визначають магнітний азимут напрямку на точку *A* (зворотний азимут), що відрізняється від азимуту напрямку руху на цій ділянці маршруту на  $180^\circ$ . Провізувавши на точку *A* по зворотному азимуту і переконавшись, що цей напрямок визначений правильно, продовжують рух до наступної точки.

Якщо протилежну сторону перешкоди не видно, то при виході в точку *A* (рис. 3.2,б) вивчають місцевість і намічають сторону, по якій легше обійти перешкоду. Після цього по компасу визначають азимут напрямку уздовж границі перешкоди ( $350^\circ$ ) і починають рух, ведучи рахунок парам кроків

(270 пар кроків). При цьому необхідно строго витримувати прямолінійність руху.

На лівій границі перешкоди в точці  $B$  (будь-яка точка на місцевості) роблять зупинку і визначають напрямок руху по азимуту, що відповідає напрямку основного маршруту ( $40^\circ$ ). По цьому напрямку рухаються до виходу за перешкоду (до точки  $C$ ). У точці  $C$  визначають напрямок руху, рівнобіжний лінії  $AB$ , тобто зворотний азимут напрямку  $AB$   $170^\circ$ . Рухаючись по напрямку лінії  $CD$ , відраховують кількість пар кроків, що дорівнює обмірюваній по лінії  $AB$ , тобто 270 пар кроків.

У точці  $D$  визначають по азимуту напрямок руху, що відповідає напрямку руху до виходу до перешкоди ( $40^\circ$ ); до кількості пар кроків, обмірюваній до точки  $A$ , додають відстань  $BC$  (300 пар кроків) і продовжують рух до наміченої раніше точки повороту маршруту.

### 3.2. Витримування напрямку руху на місцевості за допомогою гіронапівкомпаса

В даний час найбільш широке поширення в Сухопутних військах одержали гіронапівкомпаси, навігаційна апаратура з координатором і навігаційною апаратурою з курсопрокладником.

**Будова гіронапівкомпаса.** Гіронапівкомпас складається з гіромотора, карданного підвісу, коректуючого пристрою та аретира. Усе це поміщено в металевому корпусі  $1$  (рис. 3.3), що жорстко кріпиться до машини.

На передній платі корпусу є оглядове вікно, на склі якого нанесена пряма лінія (індекс) - покажчик  $3$  відліку. В оглядовому вікні видна курсова шкала  $4$ , закріплена на зовнішній рамці гіроскопа (карданному підвісі). Шкала оцифрована в поділках кутміра. Один розподіл шкали дорівнює  $0-20$  (близько  $1^\circ$ ).

Принцип роботи гіронапівкомпаса полягає в наступному. При зміні напрямку руху разом з машиною повернеться на той же кут і корпус гіронапівкомпаса. Головна вісь гіроскопа збереже своє колишнє положення. Разом з віссю обертання ротора збереже своє колишнє положення і курсова шкала, а покажчик відліку, зв'язаний з корпусом, переміститься уздовж курсової шкали на значення кута повороту машини. Наприклад, первісний відлік по шкалі гіроскопа буде дорівнювати 17-00. Новий відлік після повороту машини дорівнює 18-20, виходить, машина повернула вправо на кут  $1-20$  ( $18-20 - 17-00 = 1-20$ ).

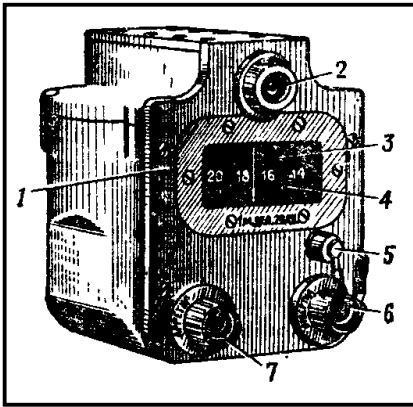


Рис. 3.3. Гіронапівкомпас ГПК-59:  
 1 - корпус; 2 - лампочка;  
 3 - покажчик відліку; 4 - курсова шкала; 5 - пробка, що закриває регульовальний гвинт;  
 6 - викрутка; 7 - ручка аретира

У гіронапівкомпасі є два коректувальних пристрої. Азимутальний коректувальний пристрій призначений для усунення відходу головної осі гіроскопа по азимуту, горизонтуючий пристрій - для утримання головної осі гіроскопа в площині горизонту. Коригувальними пристроями користуються при балансуванні гіроскопа, щоб у процесі його роботи відхід головної осі від заданого напрямку був мінімальним. Значення азимутальної корекції залежить від геодезичної широти місця розташування машини. Балансування гіроскопа проводиться при зміні району дій більш ніж на  $4^\circ$  по



широті. Вона виконується поворотом регульовального гвинта, закритого пробкою 5. Поворот здійснюється за допомогою викрутки 6.

Аретир призначений для закріплення внутрішньої і зовнішньої рамок гіроскопа в неробочому положенні. Він служить також для установки на курсовій шкалі потрібного відліку. При цьому ручкою 7 аретира повертається зовнішня рамка разом із внутрішньою рамкою і ротором доти, поки в оглядовому вікні під рисою покажчика не з'явиться потрібний розподіл шкали.

### **Порядок включення і вимикання гіронапівкомпаса.**

Включати і виключати гіронапівкомпас можна тільки в нерухомій машині. Перед включенням гіронапівкомпаса необхідно переконатися, що ручка 7 аретира знаходиться в притопленому положенні («від себе»), тобто прилад застопорений, а напруга в бортовій мережі машини дорівнює не менш 24 В. Потім вимикач живлення гіроскопа ставлять у положення **ВКЛЮЧЕНО**. Через 5хв плавним поворотом ручки аретира при її положенні «від себе» на курсовій шкалі гіронапівкомпаса встановлюють необхідний відлік напрямку руху. Після цього гіронапівкомпас треба розстопорити, тобто ручку аретира відтягують на себе. Якщо дозволяє обстановка, починаючи рух необхідно починати через 10—20 хв. У такому випадку обертання ротора і рамок стабілізується і гіронапівкомпас забезпечує високу точність витримування напрямку руху.

Під час руху обертати ручку аретира, коли прилад знятий зі стопора, не рекомендується, тому що це може привести до зриву шкали.

При вимиканні гіронапівкомпаса ручка аретира ставиться в положення «від себе» і виключається живлення приладу.

**Широтне балансування гіроскопа.** При підготовці до дій в умовах обмеженої видимості і вночі треба перевірити відхід головної осі гіроскопа і при необхідності провести широтне балансування, що багато в чому визначає точність

роботи гіронапівкомпаса. Відхід головної осі перевіряють у машині, що рухається. Спочатку машину з працюючим гіронапівкомпасом установлюють на контурній точці (розвилка доріг і т.п.), наводять візирний пристрій на добре видимий і відзначений на карті орієнтир, віддалений від машини не менш чим на 1 км, і знімають з відлікового пристрою значення кута візування  $\beta_{\text{віз } 1}$ . Потім установлюють на курсовій шкалі гіронапівкомпаса вихідний кут  $\alpha_{\text{вих}}$ , що розраховують по формулі

$$\alpha_{\text{вих}} = (60-00) - \beta_{\text{віз } 1}. \quad (3.1)$$

Після цього протягом 15 - 20 хвилин проїжджають машиною довільним маршрутом (бажано, «вісімкаю»), машину встановлюють на вихідній точці, записують відлік по курсовій шкалі  $\alpha_{\text{пр}}$ . Візирний пристрій знову наводять на той же орієнтир і визначають кут візування  $\beta_{\text{віз } 2}$ .

Відхід головної осі гіроскопа  $\Delta\alpha$  за 30 хв роботи обчислюють за формулою

$$\Delta\alpha = \frac{\alpha_{\text{пр}} - (60 - 00 - \beta_{\text{віз } 2})}{t} * 30, \quad (3.2)$$

де  $t$  – час руху машини, хв.

Якщо  $\Delta\alpha$  менше допустимого значення 0-40 (дві малих поділки шкали), то широтне балансування вважається завершеним. При великих значеннях  $\Delta\alpha$  необхідно зааретирувати гіроскоп, установити кут, що дорівнює нулю, вивернути викрутку, уставити її в отвір для балансування і повернути регулювальний гвинт у бік, протилежний відходу осі гіроскопа; якщо шкала гіроскопа пішла вправо (вліво) стосовно індексу, де регулювальний гвинт варто повертати проти ходу (по ходу) годинникової стрілки і навпаки; на 20 поділок кутоміра відходу головної осі гіроскопа за 30 хв регулювальний гвинт варто повернути на два-три ребра ручки викрутки. Після цього необхідно знову перевірити відхід осі гіроскопа. У тому випадку, коли немає часу на широтне балансування в русі,

воно виконується в нерухомій машині, для чого визначається відхід шкали гіроскопа за 30 хв роботи приладу і вводиться поправка, як і для машини, що рухається.

**Орієнтування за допомогою гіронапівкомпаса** включає:

- підготовку вихідних даних для руху;
- орієнтування машини на вихідній точці маршруту;
- витримування напрямку руху.

*Підготовка вихідних даних.* Вихідними даними служать магнітні азимути або дирекційні кути напрямків між точками повороту на маршруті і відстані між цими точками. Такі дані визначаються по топографічній карті.

Маршрут руху намічається по прохідній місцевості з використанням її маскувальних і захисних властивостей. Обрані орієнтири (точки) на поворотах маршруту обводяться кружками. Відстані між точками повороту можуть бути 5—10 км при русі вдень і 3—5 км при русі вночі. Варіант оформлення маршруту на карті показаний на рис. 3.4. При відсутності карти екіпаж готує (одержує) схему маршруту, на яку крім вихідних даних наносяться проміжні орієнтири, а також показуються можливі перешкоди для руху.

*Орієнтування машини на вихідній точці маршруту* включає визначення магнітного азимута (дирекційного кута) напрямку поздовжньої осі машини та установку цього кута на курсовій шкалі гіронапівкомпаса.

Початкове орієнтування може виконуватися по магнітному азимуту, лінійному орієнтиру або напрямку на віддалений орієнтир і по Полярній зірці.

По магнітному азимуту машину орієнтують, коли з вихідної точки не видно орієнтирів. На відстані 40—50 м від машини визначають компасом по черзі магнітні азимути напрямків уздовж її бортів (рис.3.5). За остаточний результат приймають середнє значення двох вимірів. Отриманий магнітний азимут поздовжньої осі машини встановлюють на ку-

рсовій шкалі при включеному гіронапівкомпасі. Після цього машину повільно повертають так, щоб покажчик відліку встав на шкалі проти значення азимута напрямку руху на першій ланці маршруту.

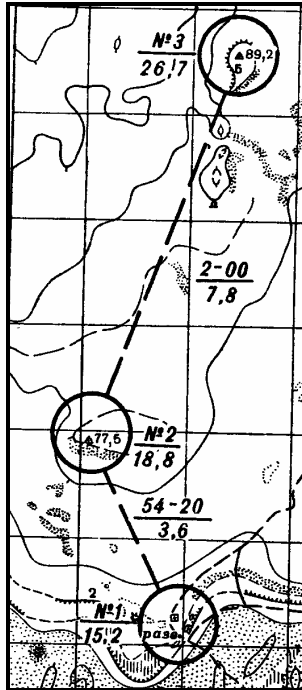


Рис. 3.4. Варіант оформлення маршруту для руху по гіронапівкомпасу

По лінійному орієнтиру. На вихідній точці машину встановлюють уздовж лінійного орієнтира. Для цього на кутомірному пристрої ставлять відлік 0-00 (30-00), потім машину повільно просувають уперед з одночасним поворотом у потрібну сторону доти, поки центральна марка прицілу (перехрестя візирного пристрою) не буде спрямована точно уздовж лінійного орієнтира. При такому положенні машини на курсовій шкалі гіронапівкомпаса встановлюють заздалегідь

визначене по карті значення магнітного азимута (дирекційного кута) напрямку лінійного орієнтира. Після цього машину повільно розвертають доти, поки покажчик відліку не стане проти значення магнітного азимута (дирекційного кута) напрямку руху.

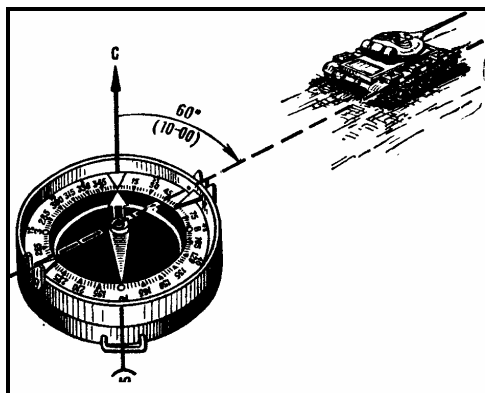


Рис. 3.5. Початкове орієнтування машини за магнітним азимутом

По напрямку на віддалений орієнтир машину орієнтують так само, як і по лінійному орієнтиру. При відліку на баштовому кутомірі 0-00 (30-00) поступовим пересуванням машини центральну марку прицілу (перехрестя візирного пристрою) сполучають з напрямком на орієнтир. Потім на курсовій шкалі гіронапівкомпаса встановлюють значення заздалегідь визначеного по карті магнітного азимута (дирекційного кута) напрямку на цей орієнтир.

По Полярній зірці машину орієнтують так само, як і по напрямку на орієнтир. Для цього зауважують який-небудь місцевий предмет або виставляють штучний орієнтир у напрямку проектування Полярної зірки на лінію обрію. При відліку баштового кутоміра 0-00 (30-00) домагаються сполучення центральної марки прицілу (перехрестя візирного пристрою) з напрямком на штучний орієнтир. На курсовій шкалі

гіронапівкомпаса установлюють відлік, що дорівнює нулю, потім машину повільно повертають доти, поки на курсовій шкалі не установиться відлік, що дорівнює дирекційному куту напрямку руху.

Точність початкового орієнтування машини по компасу і Полярній зірці при ретельному виконанні прийомів складає близько  $2^\circ$ . При визначенні магнітних азимутів (дирекційних кутів) по карті й орієнтуванні машини по лійному орієнтиру і напрямку на орієнтир точність близько  $1^\circ$ .

При значній довжині маршруту рекомендується через кожну годину руху уточнювати курс, тобто переорієнтувати машину одним з викладених вище способів.

*Витримування напрямку руху* за допомогою гіронапівкомпаса аналогічно руху по азимутах: машина рухається по прямих лініях від орієнтира до орієнтира, при цьому треба прагнути вести машину так, щоб протягом всієї ділянки маршруту від вихідної точки до точки повороту відлік на курсовій шкалі зберігався незмінним. Пройдена відстань між точками визначається по спідометру.

При русі поза дорогами часто приходиться об'їжджати вирви, ями й інші невеликі за розміром перешкоди. Щоб не відхилитися від наміченого маршруту, об'їзд таких перешкод виконується по черзі праворуч і ліворуч. Таким чином, шлях руху до наступної точки повороту буде являти собою хвилясту лінію.

Пройшовши намічену відстань, знаходять орієнтир (точку повороту), на якому машину повертають доти, поки на курсовій шкалі не установиться відлік, що дорівнює значенню магнітного азимута (дирекційного кута) напрямку на наступну точку повороту.

Великі перешкоди об'їджують. Перед початком об'їзду на курсовій шкалі встановлюють нульовий відлік. Машину повертають доти, поки на курсовій шкалі не установиться відлік, рівний 15-00 (45-00). Після цього записують показан-

ня спідометра і починають рух. Таким же порядком виконують повороти і на наступних точках. При виході машини на лінію первісного напрямку руху її повертають до установки на курсовій шкалі відліку, що дорівнює нулю. Відстань при подальшому русі зчитують по спідометру з обліком пройденого шляху при об'їзді.

### **3.3. Орієнтування на місцевості за допомогою координатора**

**Будова навігаційної апаратури з координатором.** У комплект навігаційної апаратури з координатором входять датчик шляху, курсова система «Маяк» (гірокурсказівник, пульт управління, перетворювач струму), координатор, показчик курсу. Ці прилади є основними. У комплект апаратури як допоміжні прилади й інструменти входять перископічна артилерійська бусоль ПАБ-2А з азимутальною насадкою, хордокутомір, на зворотній стороні якого вигравірувані два поперечних масштаби (1:25 000 і 1:50 000), і циркуль-вимірник. У деяких машинах замість бусолі ПАБ-2А використовується гірокомпас, що дозволяє визначати азимут напрямку поздовжньої осі машини.

Апаратура з координатором може працювати в двох режимах: у режимі розв'язування навігаційних задач і в режимі вмонтованого контролю, що забезпечує перевірку функціонування системи і точності розв'язання навігаційних задач.

*Датчик шляху* являє собою електромеханічний прилад, з'єднаний з ходовою частиною машини гнучким валиком. Енергія механічного обертання валика при русі машини перетворюється в електричні імпульси, кількість яких пропорційна пройденому шляху. Ці імпульси надходять на пристрій коректури шляху, що залежно від установленого значення коректури може змінювати число імпульсів, що приходяться на одиницю шляху. Відкоректовані електричні сигнали з пристрою коректури шляху надходять у лічильно-

розв'язувальний пристрій координатора. Датчик шляху формує імпульси, що показують знак швидкості руху (вперед або назад). Таким чином, датчик шляху безупинно визначає значення пройденого шляху і передає його в координатор.

*Гірокурсказівник* складається з тріступеневого вакуумного гіроскопа, пристроїв азимутальної і горизонтальної корекції і системи передачі значення дирекційного кута в координатор. Він має систему обігріву, що включається при температурі повітря  $5^{\circ}\text{C}$  та нижче. Гірокурсказівник забезпечує безперервне визначення і передачу в координатор значень дирекційного кута напрямку руху машини.

*Пульт управління* (рис. 3.6) призначений для налаштування курсової системи. Під кришкою пульта розміщуються потенціометри азимутальної корекції: потенціометр ШИРОТА зі шкалою, яка проградуєвана в градусах північної широти від  $0^{\circ}$  до  $90^{\circ}$ , і поправочний потенціометр електробалансування ЕЛ.Б. з двобічною шкалою, яка має по 200 поділок в обидва боки. Цей потенціометр призначений для уточнювання широтного балансування.

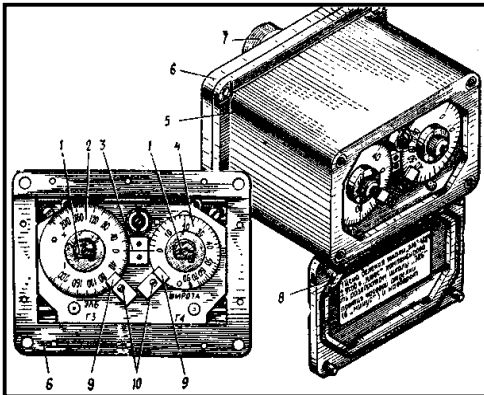


Рис. 3.6. Пульт управління:  
 1 - рукоятки; 2 - шкала ЕЛБ для електробалансування;  
 3 - індекс; 4 - шкала ШИРОТА для широтної поправки;  
 5 - корпус пульта; 6 - основа;  
 7 - роз'ягтя; 8 - кришка;  
 9 - затискачі; 10 - гвинти.

*Перетворювач струму* призначений для перетворення постійного струму напругою 27В в перемінний трифазний



струм частотою 400 Гц, напругою 36В, необхідний для живлення гірокурсовказівника, пульта управління і лічильно-розв'язувальних елементів координатора.

*Координатор* - прилад наземної навігації. Його основу складає лічильно-розв'язувальний пристрій, що за даними, які надходять від датчика шляху і гірокурсовказівника, безупинно виробляє прямокутні координати місця розташування машини, що рухається, курс руху, дирекційний кут напрямку на кінцевий пункт маршруту і відстань до нього за приростом (різницею) координат. Це дозволяє точно витримувати напрямок руху і прибути в зазначений пункт, не користуючись топографічною картою навіть у складних і важких умовах орієнтування, досить лише у вихідному пункті правильно визначити й установити на шкалах координатора необхідні вихідні дані.

Координатор має ряд пристроїв і шкал, за допомогою яких вводяться і зчитуються прямокутні координати, збільшення координат, дирекційні кути і значення коректури шляху. Усі ці пристрої і шкали розміщені на лицьовій панелі приладу (рис. 3.7).

Шкальні механізми координатора являють собою лічильники 7 координат барабанного типу. Вони дозволяють вводити і зчитувати координати, виражені п'ятизначними цифрами. Ціна одного поділу правого барабана в режимі роботи складає 10 м. При контролі роботи апаратури перемикач 13 масштабів встановлюють у положення «1 м», у цьому випадку ціна одного поділу правого барабана складає 1 м.

При установці перемикача масштабів у положення «1 м» на шкалах  $X$  і  $Y$  установлюються скорочені координати: десятки й одиниці кілометрів, а також сотні, десятки й одиниці метрів, наприклад  $x = 54347$  і  $y = 47432$ .

Особливість уведення координат  $x$  і  $y$  при установці перемикача масштабів у положення «10 м» полягає в доповненні скорочених координат ліворуч цифрою, що відповідає

сотням кілометрів, і округленні одиниць метрів до десятків. Якщо, наприклад, повні прямокутні координати вихідної точки  $x = 854347$  і  $y = 6847432$ , то на шкалах координатора відповідно встановлюються значення  $x = 85435$  і  $y = 84743$ .

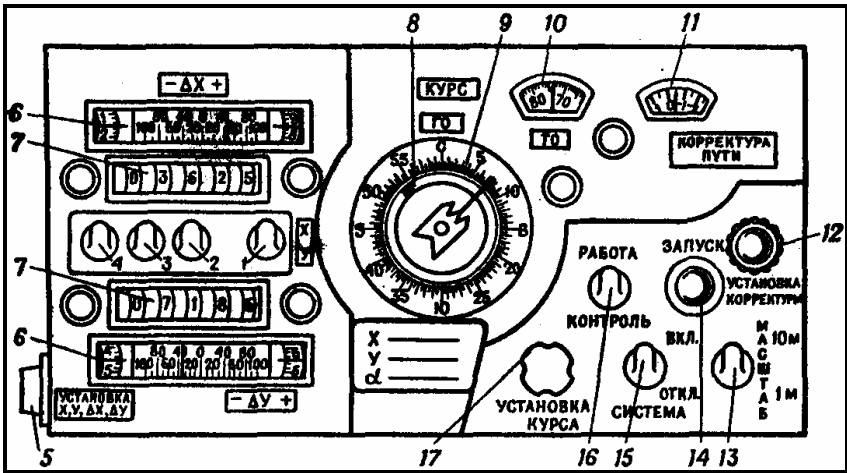


Рис. 3.7. Лицьова панель координатора:

1, 2, 3 - важільці установки координат; 4 - важілець установки приросту координат; 5 - рукоятка установки координат і збільшень координат; 6 - шкали і барабани збільшень координат;

7 - лічильники координат; 8 - індекс покажчика курсу на кінцевий пункт; 9 - курсова шкала грубого відліку; 10 - курсова шкала точного відліку; 11 - шкала КОРЕКТУРА ШЛЯХУ; 12 - рукоятка установки коректури шляху; 13 - перемикач масштабів; 14 - кнопка пуску для контролю роботи апаратури; 15 - вмикач СИСТЕМА;

16 - перемикач КОНТРОЛЬ - РОБОТА для переключення апаратури в різні режими роботи; 17 - рукоятка установки курсу

Шкальні механізми збільшень координат являють собою нерухомі шкали з ціною поділу 10 км і бічні барабани з ціною поділу 100 м. Установка різниці координат виконується з урахуванням їх знака.

Дирекційний кут подовжньої осі машини (курсний кут)

встановлюється і зчитується з курсових шкал грубого відліку (ГО) 9 і точного відліку (ТО) 10. Ціна поділу шкали грубого відліку дорівнює 0-50, а шкали точного відліку - 0-01. По шкалі грубого відліку зчитується за допомогою індексу 8 значення дирекційного кута напрямку на кінцевий пункт маршруту.

Шкала 11 КОРРЕКТУРА ПУТИ має 46 поділів та оцифрована від -13% до +10%. Ціна одного поділу складає 0,5%.

*Показчик курсу* (рис. 3.8) установлюється на приладовому щитку перед механіком-водієм і дублює показання шкали грубого відліку дирекційного кута поздовжньої осі машини.

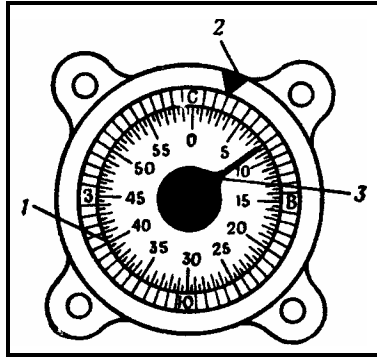


Рис. 3.8. Показчик курсу:

1 — шкала; 2 — індекс поворотного кільця;  
3 — стрілка

Він має нерухому шкалу 1 зі стрілкою 3, що вказує курс машини, і поворотне кільце з індексом 2 для оцінки заданого напрямку руху. Перископічна артилерійська бусоль ПАБ-2А (рис. 3.9) служить для визначення магнітних азимутів напрямків і виміру горизонтальних і вертикальних кутів, а також для виміру відстаней за допомогою спеціальної рейки. Вона складається з оптичного і кутомірного пристроїв, коробки з магнітною стрілкою (орієнтирів-бусолі), відлікового черв'яка

з бусольним і кутомірним барабанами, рівня, бусольного і кутомірного кілець зі шкалами, розділеними на 60 поділів.

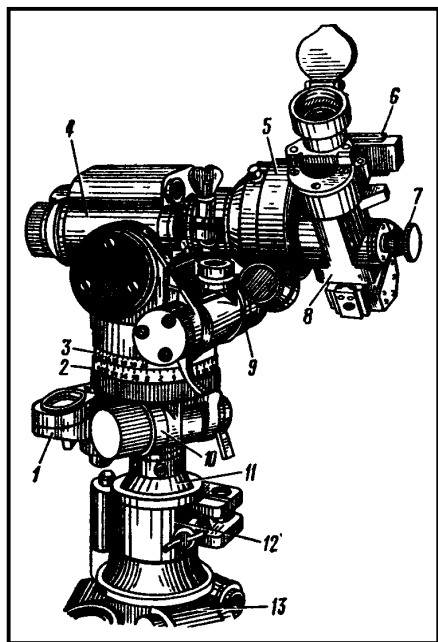


Рис. 3.9. Перископічна артилерійська бусоль ПАБ-2А с азимутальною насадкою АБН-1:

- 1 - орієнтир-бусоль;
- 2 - кутомірне кільце;
- 3 - бусольне кільце;
- 4 - монокуляр;
- 5 - азимутальна насадка;
- 6 - рівень;
- 7 - маховичок повороту голівки візира;
- 8 - візир;
- 9 - корпус відлікового черв'яка;
- 10 - корпус настановного черв'яка;
- 11 - вертикальна вісь-шестірня з кульовий п'яткою;
- 12 - затиска чашка;
- 13 - голівка триноги.

Ціна одного поділу цих шкал 1-00. Парні розподіли оцифровані. На бусольній шкалі оцифрування поділів зростає по ходу годинникової стрілки (цифри і штрихи мають чорний колір), а на кутомірній шкалі — у зворотному напрямку (цифри і штрихи мають червоний колір). Поділи на шкалах відраховуються проти покажчиків. На бусольній шкалі покажчик відзначений буквою Б, а на кутомірній — буквою У. На відліковому черв'яку бусолі закріплені бусольний і кутомірний барабани. Колір оцифровок шкал на барабанах такий же, як і шкал на кільцях бусолі. Ціна одного поділу шкал на барабанах 0-01. У корпусі відлікового черв'яка

в'яка кріпиться круглий рівень, за допомогою якого бусоль встановлюється в горизонтальній площині.

**Включення і вимикання координатора** здійснюється тільки в нерухомій машині і, як правило, при працюючому двигуні. Перед включенням необхідно перевірити напругу в бортовій мережі машини, вона повинна бути не менше 24 В. Переконавшись у цьому, вимикач СИСТЕМА перевести в положення ВКЛ. (у верхнє положення), при цьому виникає характерний звук працюючого перетворювача струму і загоряються лампочки підсвічування шкал координатора.

При вимиканні координатора зупиняють машину і вимикач СИСТЕМА переводять у положення ОТКЛ. (у нижнє положення). Починати рух після цього можна лише через 20 хв. За цей час обертання ротора по інерції припиняється. Якщо зупинити машину не можна, координатор не виключають до появи можливості зробити зупинку. Не рекомендується також відключати електроживлення апаратури при включеному координаторі.

**Підготовка навігаційної апаратури до роботи** включає широтне балансування гірокурсказівника системи «Маяк», вивірку візирного пристрою з метою узгодження оптичної осі прицілу (приладу спостереження) з поздовжньою віссю машини, що повинні бути рівнобіжні при відліку по кутомірній шкалі, що дорівнює 0-00 (30-00), і перевірку функціонування апаратури за допомогою системи вмонтованого контролю.

Перевірка і настроювання апаратури виробляються після прибуття машини в частину, а також у тих випадках, коли апаратура тривалий час не експлуатувалася або була переміщена по широті (уздовж меридіана) на 400—500 км. Перевірка функціонування апаратури за допомогою системи вмонтованого контролю проводиться, як правило, перед маршем.

При перевірці і настроюванні апаратури керуються вимогами інструкції з її експлуатації.

**Підготовка вихідних даних для руху.** Вихідними даними для орієнтування за допомогою координатора служать повні прямокутні координати вихідного пункту  $x_{\text{вих}}$  і  $y_{\text{вих}}$ , пункту призначення  $x_{\text{пп}}$  і  $y_{\text{пп}}$ , різниці координат між пунктом призначення і вихідним пунктом  $\Delta x$  і  $\Delta y$ , геодезична широта місця розташування машини  $B$ , значення коректури шляху  $K$ , дирекційний кут напрямку подовжньої осі машини на вихідній точці  $a_{\text{вих}}$ . Від точності визначення вихідних даних багато в чому залежить правильність роботи координатора.

Маршрут руху намічається по карті з урахуванням прохідності місцевості. Як вихідні пункти вибирають добре видимі на місцевості і нанесені на карту чітко виражені контурні точки, на які можна наїхати або під'їхати впритул при початковому орієнтуванні машини.

Координати вихідного пункту, точок повороту на маршруті і пункту призначення визначають заздалегідь по карті з найбільш високою точністю, наприклад з використанням поперечного масштабу. Також заздалегідь визначають значення коректури шляху контрольним проїздом обмірюваної по карті ділянки маршруту на місцевості, характерній для майбутніх дій. Значення відліку  $K$ , якому потрібно установити на шкалі КОРРЕКТУРА ПУТИ, розраховують по формулі

$$K = \frac{x - S}{S} 100\%, \quad (3.3)$$

де  $x$ —значення координати на лічильнику приладу після проїзду обмірюваної ділянки;

$S$ — довжина ділянки маршруту, обмірювана по карті.

При русі на рівнинній місцевості по ґрунтових дорогах або по сніжній ціліні глибиною 15— 20 см значення коректури шляху не перевищує для гусеничних машин 3%, для колісних машин 5%. При діях на горбкуватій і гірській місцевостях значення коректури шляху зростає на 2—5%.

Дирекційний кут поздовжньої осі машини часто визначають на вихідному пункті за допомогою артилерійської бу-

солі, особливо при обмеженій видимості і на місцевості, бідній орієнтирами.

Дирекційний кут напрямку поздовжньої осі машини на вихідному пункті визначають за допомогою бусолі в такому порядку (рис. 3.10):

на відстані 40—50 м від машини встановлюють бусоль і горизонтують її;

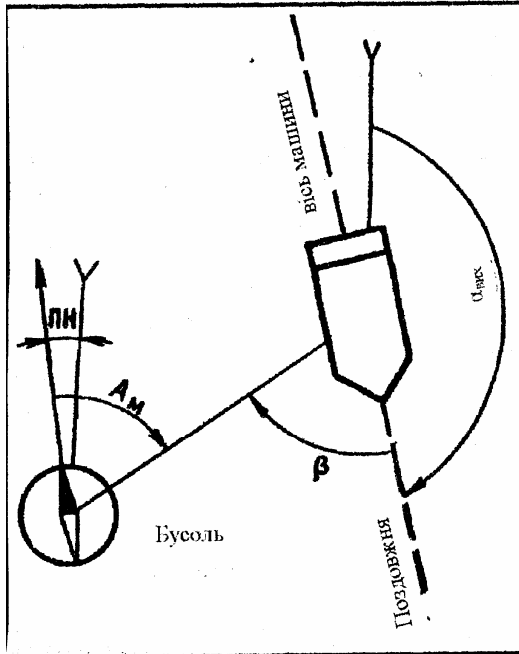


Рис. 3.10. Визначення дирекційного кута поздовжньої осі машини по бусолі

поворотом бусолі навколо вертикальної осі сполучають кінці магнітної стрілки бусолі з установчими рисками; при цьому відлік на шкалах бусольного кільця і бусольного барабана повинні дорівнювати нулю;

оптичний візир машини (прицільну марку або вертикальну лінію візирного пристрою) наводять на центр бусолі і зі шкал кутомірного пристрою зчитують і записують значення кута візування  $\beta$  (кут між поздовжньою віссю машини і напрямком на бусоль відраховується по ходу годинникової стрілки);

вертикальну нитку перехрестя бусолі наводять на центр вихідного вікна оптичного візира (прицілу); зчитують зі шкал бусолі і записують значення магнітного азимута напрямку на оптичний візир машини.

Значення дирекційного кута напрямку поздовжньої осі машини обчислюють по формулі

$$\alpha_{вих} = A_M + (\pm ПН) + (\pm 30 - 00) - \beta, \quad (3.4)$$

де  $ПН$  — поправка напрямку (беруться з карти з урахуванням річної зміни магнітного схилення).

**Початкове орієнтування машини по карті.** На вихідному пункті машину встановлюють приблизно в напрямку визначеного місцевого предмета, точно пізнаного на карті і на місцевості. На рис. 3.11 таким предметом служить вежа. По карті за допомогою хордокутоміра і циркуля вимірюють дирекційний кут напрямку з вихідного пункту на вежу. Для цього через центри умовних знаків вихідного пункту (розвилка доріг) і вежі проводять тонку пряму лінію до перетинання з найближчою вертикальною лінією координатної сітки. Потім установлюють по хордокутоміру розхил циркуля-вимірника, що дорівнює 10-00, із точки перетинання вертикальної лінії з проведеної прямої (точка  $A$ ) відкладають цей відрізок і одержують точки  $C_1$  на вертикальній лінії координатної сітки і  $C_2$  на лінії від вихідного пункту на вежу. Після цього розхил циркуля, що дорівнює відстані  $C_1C_2$ , прикладають до хордокутоміра і пересувають ліву голку циркуля доти, поки права голка не збіжиться з яким-небудь перетинанням, горизонтальної і похилої ліній. На рис. 3.11 кут по хор-



докутоміру дорівнює 3-68. Це і є значення дирекційного кута напрямку з вихідної точки на вежу.

Оскільки машину установити точно в напрямку обраного місцевого предмета не завжди легко, то за допомогою баштового кутоміра вимірюють кут між напрямком поздовжньої осі машини і напрямком на орієнтир (вежу), тобто кут візування  $\beta$ . Дирекційний кут поздовжньої осі машини обчислюють за формулою

$$\alpha_{вих} = \alpha_{ор} - \beta. \quad (3.5)$$

Якщо  $\alpha_{ор}$  менше  $\beta$ , то до  $\alpha_{ор}$  додають  $360^\circ$  (60-00).

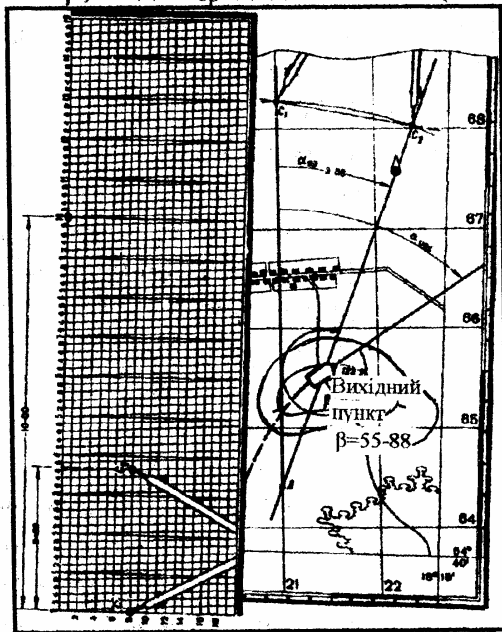


Рис. 3.11. Визначення курсового кута по карті за допомогою хордокутоміра

По хордокутоміру можна вимірювати кути до  $90^\circ$ . Якщо кут більше  $90^\circ$  (15-00), вимірюють доповнення до нього, а

потім обчислюють дирекційний кут. Точність виміру кутів хордокутоміром складає 0-01 - 0-02.

**Уведення вихідних даних у координатор.** Спочатку на пульті управління встановлюють значення географічної широти вихідного пункту маршруту. Потім перемикач масштабів ставлять у положення «10 м», перемикач режиму роботи — у положення РАБОТА, поворотом рукоятки коректури шляху встановлюють на шкалі значення коректури шляху. Обертати рукоятку можна як по ходу, так і проти ходу годинникової стрілки; вводити значення коректури шляху можна як на стоянці, так і в русі.

Після цього виконують наступні операції:

вимикач СИСТЕМА ставлять у положення ВКЛ.;

через 10—13 хв після включення координатора встановлюють координати вихідного пункту  $x_{\text{вих}}$  і  $y_{\text{вих}}$ . Установку координат виконують за допомогою важільців (див. рис. 3.7) 1, 2 і 3 і рукоятки 5. Значення координати  $X$  установлюють порозрядно справа наліво шляхом послідовного перекладу важільців 1, 2 і 3 у верхнє положення й одночасного обертання рукоятки 5 по ходу або проти ходу годинникової стрілки. Координату  $Y$  встановлюють так само, як і координату  $X$ , тільки важільці 1, 2 і 3 переводять у нижнє положення;

установлюють приріст координат  $\Delta x$  і  $\Delta y$  з урахуванням їх знаків за допомогою важільця 4 і рукоятки 5. При установці  $\Delta x$  важілець переводиться у верхнє положення, а при установці  $\Delta y$  — у нижнє. При цьому індекс покажчика курсу на кінцевий пункт маршруту автоматично встановлюється проти відповідного відліку шкали КУРС;

значення дирекційного кута машини (курсу) на шкалах грубого і точного відліку встановлюють обертанням рукоятки УСТАНОВКА КУРСА по ходу або проти ходу годинникової стрілки. Установку курсу доцільно виконувати безпосередньо перед початком руху. У такому випадку відхід го-

ловної осі гіроскопа під час стоянки машини не зробить впливу на точність роботи координатора;

на покажчику курсу поворотом кільця з індексом установлюють значення дирекційного кута курсу з початкового пункту на кінцевий пункт маршруту.

На цьому закінчується уведення вихідних даних у координатор.

### **Орієнтування на марші за допомогою координатора.**

На початку руху необхідно переконатися в правильності роботи апаратури. Для цього на першій контрольній точці порівнюють координати, зняті зі шкал координатора, з координатами, заздалегідь визначеними і підписаними на карті. Розбіжності в координатах не повинні перевищувати 1 мм у масштабі карти. Якщо ця умова виконується, продовжують рух по маршруту.

Для того щоб визначити своє місце розташування на маршруті в будь-який момент часу, досить по координатах на шкалах координатора нанести точку на карту, а за значенням дирекційного кута визначити напрямок руху.

При русі з великою швидкістю часто виконують лише загальне орієнтування, при цьому по координатах на шкалах координатора визначають тільки квадрат сітки карти, у якому знаходиться машина.

В міру віддалення від вихідного пункту в показаннях лічильників координат накопичуються помилки в основному через відхилення головної осі гіроскопа від первісного положення. Значення такого відхилення за одну годину роботи приладу звичайно не перевищує 0-30, що може викликати помилку в координатах близько 0,5 км на 25—30 км шляху. На значення помилки впливають і неточності, допущені при підготовці вихідних даних. Тому в путі періодично перевіряють правильність роботи навігаційної апаратури. На контрольних точках звіряють координати, зчитані зі шкал координатора і визначені по карті. Якщо розбіжності в координатах

тах більше 1 мм у масштабі карти, у показання координатора вводять поправки, тобто уточнюють орієнтування. Значення відхилення по азимуту в основному залежить від точності визначення і введення дирекційного кута поздовжньої осі машини при початковому орієнтуванні і від помилок, допущених при широтному балансуванні гіроскопа. На відхилення по дальності в основному впливають помилки у визначенні коректури шляху.

Нехай, наприклад, машина вийшла до ор. 2 - розвилки доріг (рис. 3.12). На карті пройдена відстань  $S = 80$  мм. По координатах, зчитаних зі шкал координатора, місце розташування орієнтира на карті не збігається з дійсним його місцем розташування на місцевості. Лінійне відхилення по азимуту  $\Delta d = 3$  мм, а лінійне відхилення по дальності  $\Delta S = 4$  мм у масштабі карти.

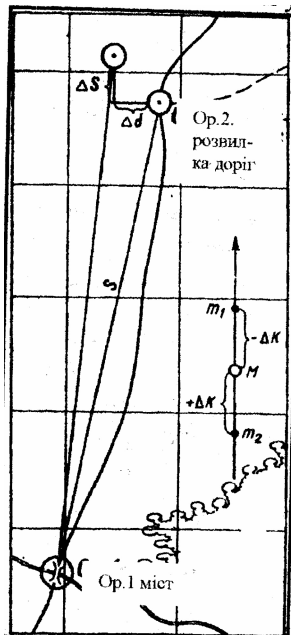


Рис. 3.12. Визначення поправок у курсовий кут і коректуру шляху

Поправка в дирекційний кут у поділах кутоміра визначають за формулою

$$\Delta\alpha = \frac{\Delta d}{S} 1000. \quad (3.6)$$

У нашому прикладі виправлення в дирекційний кут

$$\Delta\alpha = \frac{3}{80} 1000 = 0 - 38.$$

У цьому випадку обертанням рукоятки установки курсу на шкалі точного відліку треба змінити відлік на 0-38. Якщо точка відхилилася вліво (вправо) по ходу руху, відлік на шкалі треба збільшити (зменшити).

Значення поправки в коректуру шляху визначають за формулою (3.3)

У нашому прикладі поправка в коректуру шляху

$$K = \frac{4}{80} 100\% = 5\%.$$

Рукояткою коректури шляху змінюють відлік шкали **КОРРЕКТУРА ПУТИ** на значення поправки, знак якої визначається положенням точки  $m_1$  або  $m_2$  (рис. 3.12), нанесеної на карту щодо контрольного орієнтира (точки  $M$ ).

Після уведення поправки у курс і коректуру шляху на шкалах координатора встановлюють координати контрольної точки, визначені по карті, і продовжують рух. Під час тривалих зупинок записують відлік зі шкали КУРС, а при поновленні руху знову встановлюють його значення. Це виключає помилки в координатах за рахунок відходу осі гіроскопа.

Координатор дозволяє визначати координати і курс машини тільки в межах однієї координатної зони, тому на маршруті, що перетинає стик суміжних зон, використання координатора ускладнюється. У цьому випадку координати кінцевого пункту визначають по координатній сітці, побудованій по виходах ліній сітки суміжної зони.

**Цілеуказання за допомогою координатора.** У ряді ви-

падків, особливо в розвідці, координатор може бути використаний і для цілеуказання. Наприклад, рухаючись по маршруту, машина досягла району в квадраті 3098 (рис. 3.13). Ліворуч по ходу руху на віддаленні 2,9 км виявлена ціль, кут візування на ціль по кутомірному пристрою дорівнює 49-92. Курс машини, зчитаний зі шкал КУРС ГО і ТО дорівнює 17-50. Отже, дирекційний кут напрямку на ціль буде  $17-50 + 49-92 - 60-00 = 7-42$ .

По координатах, знятих зі шкал координатора, визначають місце розташування машини на карті, а потім по полярних координатах (дирекційному куту напрямку на ціль і відстані до неї) наносять ціль на карту. Маючи такі дані, при необхідності місце розташування виявленої цілі можна передати по засобах зв'язку. У деяких випадках при цілевказівці за допомогою координатора досить передати координати і курсовий кут машини, дирекційний кут напрямку на ціль і відстань до неї. Одержавши такі дані, приймаючий цілевказівку легко може нанести ціль на карту.

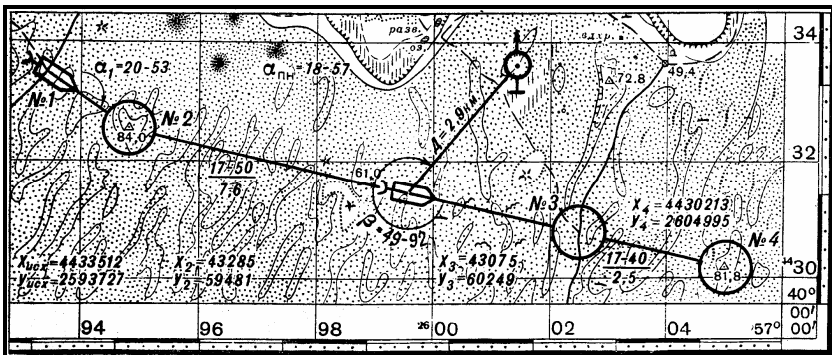


Рис.3.13. Цілеуказання за допомогою координатора

**Нанесення на карту за допомогою координатора не позначених на ній об'єктів.** Щоб нанести на карту об'єкт, наприклад колонний шлях, треба проїхати по ньому з включеним координатором. Роблячи короткі зупинки на характе-

рних точках поворотів маршруту, наносять їх на карту по координатах, зчитаних зі шкал координатора. Одержавши такі точки, досить з'єднати їх лінією, що вкаже напрямок колонного шляху.

### 3.4. Орієнтування на місцевості за допомогою курсопрокладника

Робота з курсопрокладником включає ті ж дії, що і при використанні координатора. Наявність в апаратурі спеціального механізму, за допомогою якого здійснюється креслення на карті маршруту у русі, і інша конструкція шкального пристрою обумовлюють деякі особливості експлуатації курсопрокладника в порівнянні з координатором.

**Курсопрокладник** (рис. 3.14) складається зі шкального механізму та ряду інших пристроїв і механізмів.

*Шкальний механізм* має шкали, по яких встановлюють і зчитують прямокутні координати, дирекційні кути, довжину шляху і значення коректури шляху.

Прямокутні координати  $x$  і  $y$  вводять і зчитують по шкалах 11 і 13 (ціна обороту шкали 100 км, ціна поділу 1 км), 12 і 14 (ціна обороту шкали 1000 м, ціна поділу 5 м). Стрілки на цих шкалах можна повертати за допомогою спеціальних баранчиків, розташованих над шкалами. Стрілки шкал  $X$  і  $Y$  на потрібний розподіл можна також встановлювати обертанням маховичків 6 і 4.

Дирекційний кут вводять і зчитують по шкалах 16 (ціна обороту шкали 60-00, ціна поділу 1-00) і 17 (ціна обороту шкали 1-00, ціна поділу 0-01). Стрілку встановлюють на потрібний відлік обертанням маховичка 8.

Довжину шляху, пройденого машиною, зчитують зі шкали 10 грубого відліку (ціна обороту шкали 10000 м, ціна поділу 100 м) і шкали 9 точного відліку (ціна обороту шкали 100 м, ціна поділу 1 м).

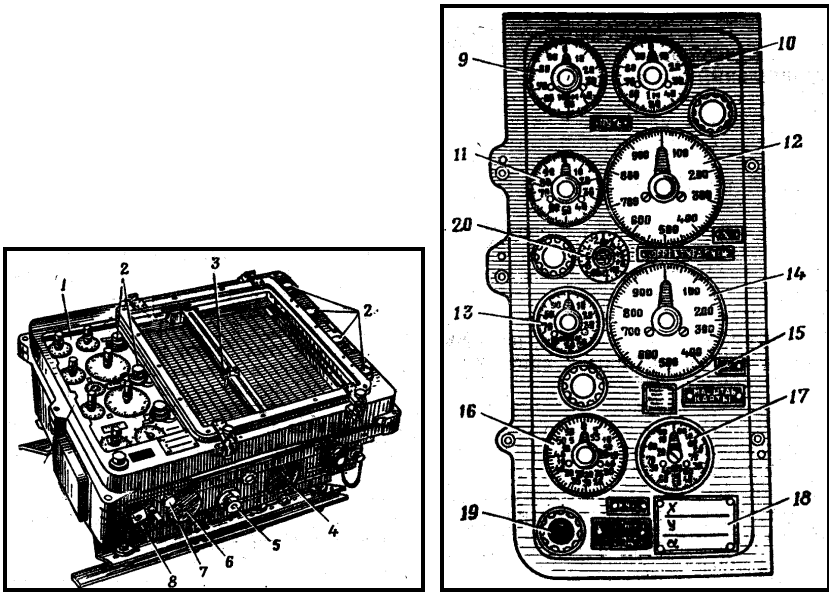


Рис. 3.14. Курсопрокладник:

1 - шкальна панель; 2 - лампочка підсвічування; 3 - олівець спеціального механізму; 4 - маховичок установки координати  $Y$ ; 5 - ручка установки коректури шляху; 6 - маховичок установки координати  $X$ ;

7 — ручка переключення масштабів; 8 - маховичок установки курсу; 9 і 10 - шкали шляху; 11 і 12 — шкали  $X$ ; 13 і 14 - шкали  $Y$ ; 15 - шкала масштабів карт; 16 і 17 - шкали курсу; 18 - планка; 19 — сигнальна лампочка; 20 - шкала коректури шляху

Шкала 15 установки масштабу карти має п'ять штрихів з підписами: 1:100 000, ВЬКЛ., 1:25 000. ВЬКЛ., 1:50 000. Необхідний масштаб установлюють рукою 7 переключення масштабів шляхом сполучення індексу з необхідним штрихом на шкалі. Шкала 20 коректури шляху розбита на 110 розподілів з ціною поділу 0,2%. Значення коректури шляху встановлюють рукою 5.

Спеціальний механізм служить для креслення на карті маршруту руху машини. Карта закріплюється на знімному планшеті за допомогою пластинчастих пружин. Переміщен-



ня олівця при його установці над заданою точкою здійснюється обертанням маховичків 6 і 4.

**Включення навігаційної апаратури** здійснюється тільки в нерухомій машині. Насамперед потрібно переконатися, щоб фазовий перемикач на перетворювачі знаходився в положенні ВЬКЛЮЧЕНО, а рукоятка механізму стопоріння - у положенні СТОПОР. Потім, уключивши батареї, перевіряють напругу бортової мережі машини і приступають до включення всієї системи.

Ручку фазового перемикача встановлюють у положення ВКЛЮЧЕНО і перемикачем ЯНТАР включають живлення перетворювача (при цьому на гірокурсказівнику засвітиться біла сигнальна лампочка). Через 5 хв гірокамеру знімають зі стопора, повертаючи ручку механізму стопоріння в ліве фіксоване положення РАБОТА (при цьому гасне сигнальна лампочка).

Через 10 хв після включення перетворювача струму перемикач ТРАСА, а також перемикачі підсилювача і ВЬКЛЮЧЕНИЕ ПУТИ переводять у положення ВКЛЮЧЕНО і реостатом ОСВЕЩЕНИЕ встановлюють необхідну яскравість висвітлення шкал і планшета курсопрокладника.

**Вимикання навігаційної апаратури** роблять у послідовності, зворотній включенню. Перемикачі ОСВЕЩЕНИЕ, ВЬКЛЮЧЕНИЕ ПУТИ, а також перемикачі підсилювача і ТРАСА переводять у положення ВЬКЛЮЧЕНО. Потім приступають до гальмування гіроскопа.

Гірокамеру ставлять на стопор (при цьому загоряється сигнальна лампочка СТОПОР) і, попередньо уключивши перемикач ПОДСВЕТКА, розгортають її маховичком установки курсу так, щоб було видно віконце на камері гіромотора. Потім перемикач ЯНТАР ставлять у положення ВЬКЛЮЧЕНО, а фазовий перемикач переводять у положення ТОРМОЗ. Після цього перемикач ЯНТАР повертають у положення ВКЛЮЧЕНО (при цьому загоряються сигнальні лампочки

на корпусі датчика куреу з написами СТОПОР, ТОРМОЖЕННЯ і починається гальмування гіромотора). У дзеркальце через віконце на камері гіромотора спостерігають за ротором гіроскопа і при його зупинці переводять перемикач ЯНТАР і фазовий перемикач у положення ВЬКЛЮЧЕНО. При цьому потрібно уважно стежити за зупинкою ротора і ні в якому разі не допускати розгону його в зворотну сторону.

Якщо за умовами обстановки машина не може бути зупинена для гальмування гіроскопа (приблизно на 6 хв), то навігаційна апаратура виключається частково (не гальмується гіроскоп і не вимикається гірокурсказівник). Гальмування гіроскопа і вимикання гірокурсказівника роблять пізніше в обстановці, що дозволяє виконати цю роботу.

**Підготовка карти і установка її в планшет.** При орієнтуванні за допомогою курсопрокладника користуються окремими не склеєними між собою аркушами карти. Їх розкладають за номенклатурою і нумерують у порядку використання на маршруті.

Маршрут на карті піднімають коричневим кольором, проводячи тонку переривчасту лінію в 2—3 мм від осі маршруту зі східної або південної його сторони залежно від напрямку руху, щоб надалі був чітко видний слід олівця спеціального механізму. Для контролю правильності роботи апаратури в русі визначають і підписують на карті дирекційний кут найближчого до вихідної точки прямолінійної ділянки маршруту і координати декількох орієнтирів по маршруту. Перший контрольний орієнтир намічають поблизу вихідного пункту.

У комплект курсопрокладника для установки карти входять два планшети. На перший планшет укладають лист карти, на якому зображена вихідна точка. При цьому лист карти потрібно розташовувати в строго визначеному положенні: північна його сторона повинна бути звернена до верхнього краю планшета, а вертикальні лінії кілометрової сітки пови-

нні збігатися з лініями, нанесеними на планшеті, або бути їм рівнобіжні. Щоб зручніше було це зробити, верхнє і нижнє поля листа підгинають. Потім цей лист карти закріплюють пластинчастими пружинами і планшет вставляють у курсопрокладник. У такий же спосіб на другий планшет прикріплюють лист карти з продовженням маршруту руху.

**Визначення вихідних даних і введення їх у координатор.** Вихідними даними для початкового орієнтування машини, обладнаної курсопрокладником, служать прямокутні координати вихідного пункту  $x_{\text{вих}}$  і  $y_{\text{вих}}$ , вихідний дирекційний кут  $a_{\text{вих}}$  і коректура шляху  $K$ .

Прямокутні координати вихідного пункту вводять на шкалах  $X$  і  $Y$  одночасно з установкою олівця спеціального механізму на вихідну точку в такому порядку (рис. 3.15). Олівець спеціального механізму обертанням маховичків  $X$  і  $Y$  встановлюють точно в південно-західний кут квадрата, у якому розташована вихідна точка (рис. 3.15, а). Потім поворотом баранчиків ставлять значення оцифровок кілометрових ліній, що перетинаються в даному куті квадрата, на відповідні шкали грубого відліку координат, а на шкали точного відліку — нульовий відлік.

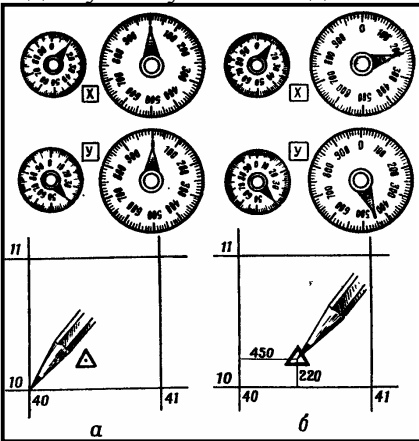


Рис. 3.15. Установка олівця за значеннями координат вихідної точки:  
 а - перший етап;  
 б - другий етап

Для більш швидкого пересування олівця рекомендується попередньо установити на шкалі переключення масштабів положення, що відповідає масштабу 1:25 000. Потім ручку переключення масштабів переводять у положення, що відповідає масштабу встановленої карти, і обертанням маховичків установки координат  $X$  і  $Y$  на шкалах точного відліку встановлюють сотні, десятки й одиниці значень координат вихідної точки (рис. 3.15, б). У результаті цей олівець спеціального механізму переміститься на вихідну точку. Вихідний дирекційний кут уводять на шкалах курсу грубого і точного відліку обертанням маховичка  $\delta$  (рис. 3.14) установки курсу.

Коректуру шляху встановлюють на відповідній шкалі ручкою  $\zeta$  установки коректури.

Безпосередньо перед початком руху рекомендується ретельно перевірити правильність установки прямокутних координат і масштабу карти, а також уточнити значення дирекційного кута на шкалі точного відліку.

**Робота з курсопрокладником у русі.** Почавши рух, насамперед необхідно переконатися в правильності роботи апаратури. Для цього на перших кілометрах шляху з особливою увагою стежать за просуванням олівця по карті і при необхідності коректують роботу апаратури.

Збіг сліду олівця з віссю дороги свідчить про правильне визначення і уведення вихідного дирекційного кута поздовжньої осі машини і правильне вироблення апаратурою курсу. Рух олівця паралельно дорозі також показує, що курс вірний, але олівець неточно був встановлений на вихідній точці.

Кутове відхилення сліду олівця від дороги спостерігається найчастіше через похибку у визначенні або у введенні вихідного дирекційного кута, а також через неправильну установку карти на планшеті.

Курс можна уточнити на прямолінійній ділянці дороги, дирекційний кут якої був визначений при підготовці карти. Машину ведуть якомога точніше по осі дороги або паралель-

но їй (показник цього - практично постійний відлік на шкалі КУРС). Потім зупиняють машину, маховичком уводять на шкалі КУРС новий дирекційний кут дороги і продовжують рух.

Перевірку координат, вироблених апаратурою, і їх уточнення роблять, як правило, біля всіх орієнтирів, координати яких записані на карті при її підготовці.

При підході машини до орієнтира звіряють координати апаратури і карти і при необхідності вносять відповідні корективи: маховичками установки координат  $X$  і  $Y$  олівець установлюють точно на орієнтир, а поворотом баранчиків уводять на шкалах його координати, записані на карті.

Одночасно з координатами уточнюють і значення коректури шляху. Якщо машина підійшла до орієнтира, а олівець перейшов через цей орієнтир на карті, значення коректури шляху необхідно трохи збільшити, повернувши ручку установки коректури шляху проти ходу годинникової стрілки, а якщо олівець не дійшов до контрольного орієнтира — зменшити.

Крім перевірки і коректури роботи апаратури в путі необхідно вчасно змінювати карту на планшеті курсопрокладника. При підході олівця до краю планшета загоряється сигнальна лампочка **ВЫКЛЮЧЕНИЕ ПРОКЛАДКИ**. Після цього можна продовжувати рух на відстань не більше 1 см у масштабі карти, а потім карту необхідно замінити.

**Заміну карти** роблять у наступному порядку. Ручку переключення масштабів ставлять у положення **ВЫКЛЮЧЕНО** і продовжують рух по маршруту за межі змінюваного листа карти. Потім машину зупиняють, записують координати і дирекційний кут, зняті зі шкал, виймають планшет з курсопрокладника і на його місце ставлять запасний планшет із задалегідь покладеною черговою картою. Після цього відповідно до записаних координат олівець установлюють над точкою зупинки машини, вводять вихідні координати, а на шка-

лі КУРС відновлюють записане значення дирекційного кута (якщо воно змінилося) і продовжують рух. Іноді за умовами обстановки зупинка машини виключається і замінити карту не вдається. У цьому випадку виключають спеціальний механізм ручкою переключення масштабів і продовжують рух, а орієнтування ведуть так само, як і при русі на машині, обладнаній навігаційною апаратурою з координатором, тобто маршрут витримують по карті, а координати, вироблювані апаратурою, використовують для контролю руху.

Витримування маршруту і вихід у пункт призначення здійснюються спостереженням положення олівця щодо піднятого маршруту на карті.

Точність витримування маршруту за допомогою курсопрокладника складає приблизно 1,5% пройденого шляху.

## Г л а в а 4

### СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ

#### 4.1. Основи концепції побудови Глобальної системи визначення місцеположення

У зв'язку з розвитком наукової думки, досягнень у освоєнні космосу, спеціалісти прийшли до висновку, що подальший розвиток класичних способів навігації обмежений і вдосконалення гіроскопічних систем навігації не зможе забезпечити найсучасніші види бойової техніки та озброєння швидкими і більш надійними способами навігації. Інтенсивний розвиток космонавтики показав, що використання супутників у навігації є найперспективнішим шляхом до створення навігації майбутнього.

У провідних країнах світу ще в 70-х роках почали розробку глобальних космічних навігаційних систем. Безпосереднім попередником сучасної системи визначення місцеположення була Морська навігаційна супутникова система (NNSS), що також відома як система TRANSIT. Вона складається з семи супутників, які обертаються навколо Землі на висоті приблизно 1100 км по полярних орбітах, близьких до кругових. Система TRANSIT була розроблена військовим відомством США головним чином для визначення координат повітряних та морських суден. Цивільне використання цієї супутникової системи було зрештою дозволене, і вона почала широко застосовуватись у світі як для навігації, так і для зйомки. Сьогодні тисячі малих морських та повітряних суден визначають свої координати, реєструючи сигнали супутників системи TRANSIT.

Початкові експерименти з системою TRANSIT показали, що можна отримати точність визначення місцеположення близько одного метра, якщо у вибраній точці провести спостереження протягом кількох діб та виконати обробку даних

з використанням уточнених ефемерид. Група послідовно переміщуваних доплерівських приймачів спроможна забезпечити субметрову точність визначення відносних координат з використанням ефемерид, які передаються безпосередньо із сигналами супутників.

Але система TRANSIT мала два суттєвих недоліки. Головною проблемою у використанні цієї системи були великі проміжки часу між окремими сеансами спостережень. Для визначення положення у довільний момент часу користувачі змушені були виконувати інтерполяцію між послідовними проходженнями супутників над станцією спостережень, що повторювались приблизно кожні 90 хв. Другою проблемою системи TRANSIT була відносно мала точність визначення місцеположення.

Для усунення двох суттєвих недоліків системи TRANSIT створена Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Мета GPS полягає у миттєвому визначенні координат та швидкості об'єкта спостережень.

Для виконання неперервного визначення місцеположення у глобальному масштабі була розроблена схема розташування орбіт достатньої кількості супутників, при якій у полі зору електронного приймача завжди знаходилось би не менше чотирьох супутників GPS. З порівняння кількох варіантів конфігурації орбіт виявилось, що найбільш економічною є схема, у якій рівновіддалені супутники у кількості 21 обертаються з періодом 12 год по кругових орбітах, нахилених до площини екватора під кутом  $55^\circ$ . В усякому випадку ця конфігурація забезпечує видимість протягом 24 годин будь-де на Землі щонайменше чотирьох ШСЗ. Залежно від мінімальної висоти над горизонтом (кута місця), при якій виконуються спостереження, кількість супутників, що можуть бути використані, є навіть більшою, ніж вказана мінімальна, що важливо при роботі за кінематичним методом або у деяких інших випадках.



За роботу Глобальної системи визначення місцеположення (GPS) відповідає Управління міжвідомчих програм (УМП), яке знаходиться в Космічному відділенні командування Військово-повітряних сил США на авіабазі поблизу м. Лос-Анджелес. У 1973 р. УМП отримало розпорядження Міністерства оборони США спроектувати, виготовити, провести випробування та підтримувати функціонування системи визначення місцеположення, яка б мала космічне базування. Результатом виконання цієї директиви стала теперішня GPS, що базується на супутниковій системі NAVSTAR.

GPS була задумана як система визначення координат точок, розташованих на суші, на морі, поблизу поверхні Землі та у ближньому космосі, шляхом вимірювання відстаней до відомих місцеположень супутників. Дійсно, сигнал із супутника постійно позначається мітками часу (свого) на момент передачі, тому під час реєстрації синхронізованим приймачем можна визначити проміжок часу, за який електромагнітна хвиля пододала відповідну відстань. З самого початку крім обчислення статичного місцеположення метою GPS було забезпечити миттєве визначення координат та швидкості рухомої платформи (тобто навігацію), а також точну синхронізацію годинників (тобто передачу сигналів часу).

Оскільки МО США було ініціатором створення GPS, то основними були суто військові завдання. Однак Конгрес США за підтримкою президента дав МО розпорядження про активне сприяння цивільному використанню GPS.

Система GPS сконструйована головним чином так, щоб забезпечити користувача можливістю визначення його місцеположення, яке виражається через довготу, широту та висоту. Це досягається простим методом засічки, у якому використовуються відстані від точок спостережень до супутників.

Припустимо, що супутники у певну мить часу нерухомі у просторі. Тоді просторові координати  $p^s$  кожного супутника відносно центра мас Землі (рис. 4.1) можуть бути обчис-

лені на підставі ефемерид, що передаються разом із сигналом супутника. Припустимо далі, що приймач на поверхні Землі, який позначимо геоцентричним вектором  $p_R$ , оснащений годинником, точно синхронізованим із системним часом GPS. Тоді справжня відстань до кожного ШСЗ може бути точно виміряна шляхом визначення проміжку часу, необхідного для того, щоб сигнал із супутника досяг приймача. Кожна така відстань окреслює сферу з центром у точці розташування супутника, що проходить через точку розташування приймача. Отже, необхідно мати відстані всього до трьох супутників, оскільки перетин трьох сфер дасть можливість визначити три невідомі параметри (широту, довготу та висоту) як розв'язок системи трьох рівнянь виду

$$\rho = \left\| \rho^s - \rho_R \right\|. \quad (4.1)$$

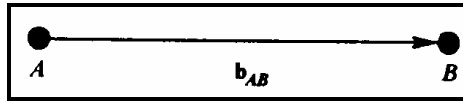


Рис. 4.1. Принцип визначення просторих координат супутника

Дещо інший підхід застосовується в сучасних приймачах GPS. Найчастіше вони оснащені недорогими кварцовими годинниками, які лише приблизно синхронізовані зі шкалою часу GPS. Тому завжди існує деякий зсув між годинником приймача та системним часом GPS, що призводить до скорочення або видовження відстані до супутника у порівнянні з дійсною. Цю проблему користувач може розв'язати, вимірюючи одночасно чотири відстані до чотирьох супутників, які називаються псевдовідстанями  $R$ , тому що вони виражаються у вигляді суми (або різниці) справжньої відстані та малої додаткової величини  $\Delta\rho$ , зумовленої похибкою годинника приймача — зсувом  $\delta$ . Рівняння простої моделі для псевдовідстані є таким:

$$R = \rho + \Delta\rho = \rho + c\delta, \quad (4.2)$$

де  $c$  - швидкість світла.

Визначення місцеположення може бути зроблене методом засічки, але з деякою відміною, а саме: тепер потрібні чотири псевдовідстані для визначення чотирьох невідомих величин – трьох компонент вектора місцеположення та зсуву годинника. Похибка відстані  $\Delta r$  може бути виключена заздалегідь, якщо обчислити різниці псевдовідстаней, які вимірювались з одного пункту до двох супутників або до двох різних положень одного і того ж ШСЗ. В обох випадках різниця відстаней визначає гіперболоїд, фокуси якого розташовані у точках розміщення супутників або у різних точках траєкторії одного і того ж супутника відносно положення приймача.

Аналіз основного рівняння (4.1) приводить до висновку, що на точність визначення місцеположення одним приймачем суттєво впливають такі фактори:

- точність координат кожного із супутників;
- точність вимірів псевдовідстаней;
- геометрія (розподіл супутників).

Систематичні похибки координат супутника та можливий зсув бортового годинника, що впливають на виміри, можуть бути виключені шляхом обчислення різниць псевдовідстаней від двох пунктів спостережень до супутника.

Для характеристики геометрії супутників відносно пункту спостережень введено коефіцієнт зменшення точності, обумовленого геометрією. Згідно з геометричною інтерпретацією цей коефіцієнт обернено пропорційний до об'єму тіла, розташованого між кінцями одиничних векторів, напрямлених від пункту спостережень до супутників.

**Визначення швидкості.** Визначення миттєвої швидкості засобу пересування — платформи, що рухається, — є іншою метою навігації. Її можна досягти з використанням принципу Доплера для радіосигналів. Оскільки існує переміщення супутників GPS відносно рухомої платформи, то частота сигналів, що передаються із ШСЗ та приймаються на платформі, зсувається. Цей зсув, який неважко виміряти, пропорційний

до величини відносної радіальної швидкості. Тому у такий спосіб цілком можливо визначити з доплерівських спостережень радіальну швидкість рухомої платформи, оскільки для супутників ця швидкість відома.

Вказана псевдовідстань може бути отримана або шляхом множення швидкості розповсюдження (кодованого) сигналу на вимірний проміжок часу, необхідний для подолання шляху від супутника до приймача, або шляхом вимірювання фази сигналу. В обох випадках використовуються покази годинників супутника та приймача. Оскільки ці годинники ніколи не бувають синхронізовані абсолютно точно, то в спостереженнях замість істинної отримується “псевдовідстань”, яка містить похибку синхронізації (у рівнянні (4.2) вона позначена як похибка годинника). Кожне рівняння цього типу має чотири невідомі величини, а саме: три потрібні координати точки спостережень та похибку годинника. Тому для розв'язання задачі з чотирма невідомими необхідні значення псевдовідстаней до чотирьох супутників. У концепції GPS передбачається, що повна конфігурація системи супутників здатна забезпечити чотири і більше супутників у полі зору цілодобових спостережень з будь-якої точки на поверхні Землі. Якщо використовувати виміри фази, то розв'язок задачі стає складнішим тому, що величина фази містить у собі додатковий доданок, який виражає початковий невідомий зсув фази, пропорційний до цілого числа довжин хвиль на обраній частоті.

Супутникова (глобальна) навігаційна система (СНС) складається з трьох сегментів: космічного сегменту, який складається з супутників, що передають радіосигнали на Землю, сегменту управління, який стежить за функціонуванням всієї системи, сегменту користувача, що включає приймачі різних типів.

## 4.2. Основи функціонування сегментів космічної навігаційної системи

### Космічний сегмент

Повністю розвинений космічний сегмент буде спроможним забезпечити у глобальному масштабі можливість одночасного спостереження від чотирьох до восьми супутників при кутах місця понад  $15^\circ$ . Якщо цей мінімальний кут зменшити до  $10^\circ$ , то час від часу у полі зору знаходитиметься до 10 супутників, а за умови зменшення цього кута далі до  $5^\circ$  кількість видимих супутників зрідка може досягати 12. Для цього космічні апарати розміщуються на орбітах, близьких до кругових, з висотою над поверхнею Землі близько 20200 км та періодом обертання приблизно 12 зоряних годин. Спочатку було заплановано здійснити запуск 24 супутників, які б обертались у трьох орбітальних площинах, нахилених під кутом  $63^\circ$  до екватора. У 1986 р. кількість ШСЗ склало 21 та три запасні супутники. Запасні супутники призначені для заміни несправних «активних» супутників. Згідно з сьогоднішніми планами конфігурація складатиметься з 24 діючих супутників, розташованих на шести орбітальних площинах, нахилених до площини екватора під кутом  $55^\circ$ , по чотири на кожній. Крім того, для оперативної заміни ще чотири запасні супутники знаходяться на Землі.

*Супутник.* Космічні апарати GPS фактично служать платформами для установки прийомопередавачів, атомного годинника, комп'ютера та іншого устаткування, необхідного для роботи системи. Це електронне обладнання дає користувачу можливість вимірювати псевдовідстань  $R$  до супутника. Крім того, кожен спостерігач, завдяки інформаційному повідомленню про орбіти, яке кодується в сигналі з супутника, спроможний визначити просторові координати  $p^s$  супутника у довільний момент часу. Спираючись на ці дві можливості та на метод засічок, як це показано на рис. 4.1, користувачі

можуть визначити свої координати  $p_R$  на поверхні або поблизу Землі. Допоміжне обладнання кожного супутника складається, крім усього іншого, з двох сонячних батарей площею  $7 \text{ м}^2$ , які забезпечують електричне живлення, та системи реактивних двигунів, потрібних для корекції орбіти та управління орієнтацією космічного апарата в просторі.

Супутники мають різноманітні системи ідентифікації, а саме: за номером запуску, за присвоєним кожному апарату окремим псевдошумовим кодом (PRN), за номером позиції на орбіті, за номером у каталозі НАСА, за міжнародною класифікацією. Для того щоб уникнути можливих непорозумінь та зберегти відповідність із змістом навігаційного повідомлення із супутника, використовується головним чином номер PRN.

Існують п'ять класів, або типів, супутників GPS. Це Block I, Block II, Block IIА, Block IIR та Block IIF.

У період з 1978 по 1985 р. УМП здійснило запуск одинадцяти ШСЗ типу Block I, використовуючи ракети-носії "Атлас" серії F, маса кожного становила 845 кг. Супутники типу Block I повністю замінені за допомогою нових запусків у березні 1994 р. Зайві супутники Block I, що залишилися переміщені зі своїх орбіт і були залишені для наукових випробувань.

Конфігурація супутників типу Block II трохи відрізняється від конфігурації супутників Block I, оскільки кут нахилу їх орбітальної площини до екваторіальної дорівнює  $55^\circ$ , тоді як до попереднього покоління він становив  $63^\circ$ . Крім кута нахилу орбіти існує ще одна суттєва різниця між супутниками Block I та Block II, пов'язана з національною безпекою США. Сигнали супутників Block I могли вільно реєструватись цивільними користувачами, а доступ до інформації з ШСЗ наступного покоління Block II став обмеженим.

Супутники типу Block II були призначені для забезпечення першої версії повної уніфікованої GPS (тобто 21 акти-

вного та трьох запасних супутників). Перший із супутників типу Block II коштував приблизно 50 млн доларів США і важив більше 1500кг. Його запуск здійснено 14 лютого 1989 р. за допомогою ракети “Дельта II”. Середня тривалість функціональної здатності супутників цього типу становить шість років, хоча метою проекту було досягти семи з половиною років. Деякі з супутників можуть справно працювати навіть до десяти років, тому що їх основні модулі функціонують протягом такого часу.

Супутники типу Block IIА (літера “А” означає у перекладі “удосконалення” (advanced)) оснащені устаткуванням для взаємного зв'язку. На деяких з них встановлені світловідбивачі, що дає можливість виконувати стеження за ними методом лазерної світловіддалеметрії. Перший супутник типу Block IIА було запущено 26 листопада 1990 р. Місце розташування супутників на орбіті позначається за допомогою однієї літери (для площини) і однієї цифри (для номера положення на площині).

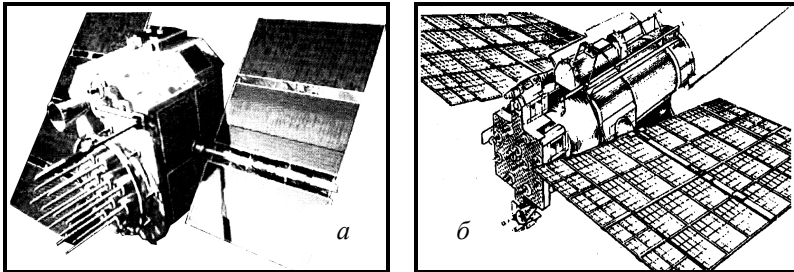


Рис.4.2. Штучний супутник Землі навігаційної системи:  
а - системи NAVSTAR (блок-2); б - системи ГЛОНАСС

Супутники типу Block IIR, які прийшли на заміну супутникам Block II, мають десятирічну проектну тривалість функціональної здатності (літера “R” означає у перекладі “поповнення” (replenishment)). Запуск супутників цього типу на

орбіту розпочато з початку 1995 р. Для запуску третього покоління супутників системи GPS передбачалося використати космічні кораблі “Шаттл”. Маса космічного апарата Block IIR перевищуватиме 2000 кг, проте за вартістю він удвічі дешевший, ніж Block II. Кожен з них спроможний одночасно транспортувати три ШСЗ.

Супутники наступного покоління, які названо Block IIF (від слова follow on — наступний), планується запускати у період з 2001 по 2010 р. Ці супутники оснащуватимуться удосконаленим устаткуванням для автономної навігації, наприклад інерціальними системами навігації.

*Сигнал супутника.* Сигнал, який передається супутником, має широкосмуговий спектр, що робить його стабільним в умовах навмисних чи випадкових радіозавад. Основу точності системи становлять мітки часу, які скеровуються від атомного годинника на всі електронні модулі. Супутники типу Block II обладнані чотирма стандартами точного часу: двома рубідієвими та двома цезієвими. Довгострокова відносна стабільність частоти цих стандартів досягає  $10^{-13}$ - $10^{-14}$  за добу. Водневі мазери супутників типу Block IIR здатні підтримувати добову стабільність на рівні  $10^{-14}$ - $10^{-15}$ . Високоточні стандарти частоти, які можна назвати серцем усієї електронної системи, застосовуються для генерації коливань на робочій частоті 10.23 МГц. Шляхом множення цієї частоти на 154 та 120 відповідно отримують дві частоти несучих хвиль сигналу GPS у *L*-діапазоні, а саме:

$$L1 = 1575.42 \text{ МГц,}$$

$$L2 = 1227.60 \text{ МГц.}$$

Двочастотний характер сигналу важливий для усунення значної похибки під час визначення псевдовідстані, яка виникає через вплив іоносфери.

Щоб реалізувати можливість визначення псевдовідстаней за вимірами проміжку часу, який витрачається на поширення радіохвилі, на обидві несучі хвилі накладається два



види фазо-імпульсної модуляції псевдошумовим (PRN) сигналом-кодом.

Стандартна служба визначення місцеположення (SPS) забезпечується низькоточним C/A-кодом. Еквівалентна довжина хвилі C/A-коду, який спеціально накладається тільки на одну несучу частоту  $L1$ , дорівнює приблизно 300 м. Відсутність цього коду на частоті  $L2$  дає УМП можливість керувати інформацією, що надходить з супутників, і обмежувати використання цивільними користувачами повної досяжної точності системи.

Високоточна служба визначення місцеположення (PPS) спирається на P-код, який призначено для використання військовими установами та іншими організаціями, що мають на це спеціальний дозвіл.

Еквівалентна довжина хвилі P-коду, яким здійснюється модуляція обох частот несучої хвилі сигналу GPS, становить приблизно 30 м.

Доступ до P-коду був необмеженим, поки система не була оголошена функціонуючою у повному складі.

Крім PRN-кодів на сигнал накладається додаткова модуляція, щоб забезпечити передачу навігаційного повідомлення (навігаційне повідомлення — це сукупність супутніх даних, необхідних для використання системи): ефемерид супутників, коефіцієнтів моделі іоносфери, даних діагностики стану апаратури супутника, системного часу GPS, зсуву шкали супутникового годинника та швидкості його зміни (дрейфу).

Щоб обмежити використання цивільними користувачами повних можливостей GPS, існують два головні способи, а саме: метод вибіркового (селективного) доступу (SA) та метод запобігання імітації сигналів (A-S).

*Метод вибіркового доступу.* На початковій стадії розвитку очікувалось, що точність під час визначення місцеположення з використанням C/A-коду становитиме 400 м для відстаней до супутників. Під час польових експериментів не-

сподівано виявилось, що рівень точності навігації становить 15-40 м для місцеположення і менше 1 м/с для швидкості. Мета методу SA полягає у зменшенні точності навігації шляхом маніпулювання показами годинників на супутниках. Устаткування для здійснення SA встановлюється на супутниках типу Block II.

Згідно з даними МО США, результуюча точність зменшується до 100 м для горизонтальних координат і до 156 м для висотної складової. Ці ж дані визначають похибку швидкості на рівні 0,3м/с і часу на рівні 340 нс. Наведені значення мають місце для довірчої ймовірності 95 % . Для значення 99,99 % передбачувана точність зменшується до 300 м для горизонтальних складових місцеположення і до 500 м для висоти .

*Метод запобігання імітації сигналів.* У GPS передбачена можливість ефективного «вимкнення» Р-коду або використання додаткового шифрованого коду (Y-коду) як засобу захисту Р-коду та запобігання доступу до точності, яку можна отримати з PPS. Такі заходи необхідні на випадок, якщо противник розпочне передавати фальшиві сигнали такої ж, як у GPS, структури, що може призвести до плутанини та неправильного визначення користувачем своїх координат.

Реалізація методу А-S здійснюється шляхом додавання 2 бітів до суми під час генерації Р-коду і шифрування W-кодом. Код, що отримується, називається Y-кодом. Отже, якщо А-S ввімкнено, то Р-код на несучих хвилях  $L1$  та  $L2$  замінюється невідомим Y-кодом. Режим А-S може мати лише два стани: ввімкнено або вимкнено.

### **Сегмент управління**

Цей сегмент включає систему оперативного управління (OCS), яка складається з головної та додаткових станцій управління і пунктів спостережень, розташованих на всій планеті. Головним завданням OCS є стеження за супутниками з метою визначення траєкторій ШСЗ та похибок годинни-

ків на їх борту, а також прогнозування їх змін. Крім того, через систему управління здійснюються синхронізація годинників та оновлення даних, які становлять основу для навігаційних повідомлень. У сферу обов'язків OCS входить керування рівнем SA.

*Головна станція управління.* Базуванням головної станції управління є об'єднаний космічний Центр управління, що на авіабазі Фалькон, поблизу міста Колорадо Спрінгс, штат Колорадо. Центр виконує збір даних зі станцій стеження та обчислює орбіти супутників NAVSTAR за допомогою фільтра Калмана (фільтр Калмана — це алгоритм послідовного оцінювання невідомих параметрів, який працює за схемою прогноз — корекція. У випадку гауссового білого шуму цей алгоритм еквівалентний методу найменших квадратів. Однією з переваг фільтра Калмана є можливість прогнозування стану системи). Потім ці результати передаються на одну з трьох наземних додаткових станцій управління для негайної передачі повідомлення на супутник. Головна станція управління також здійснює контроль за технічним станом космічних апаратів та загальним функціонуванням усієї системи.

*Станції стеження.* Всього існує п'ять станцій стеження, які розташовані на Гавайських островах, у Колорадо-Спрінгс, на островах Вознесіння у Північній Атлантиці, Дієго-Гарсія в Індійському океані та Кваджалейн у північній частині Тихого океану. Кожна з цих станцій оснащена високоточним та стабільним цезієвим стандартом частоти, а також Р-кодовим приймачем, який виконує неперервні виміри псевдовідстаней до всіх видимих супутників. Оцінювання псевдовідстаней здійснюється кожні півтори секунди. Після цього для них виконується згладжування із застосуванням інформації про іоносферні та метеорологічні умови, і головна станція управління отримує усереднені за кожні 15 хв дані.

Мережа станцій стеження, перелічених вище, є офіційною мережею для моделювання корекцій годинників на су-

путниках та визначення ефемерид, які передаються з супутників. Крім того, існує ще багато інших приватних мереж станцій стеження. Вони не беруть участі в керуванні роботою системи, але визначають орбіти супутників.

*Додаткові станції управління.* Ці станції розташовані на тих же пунктах, що і станції стеження на островах Вознесіння, Дієго-Гарсія та Кваджалейн. Вони служать для передачі повідомлень на супутники і оснащені відповідними антенами. Ефемериди супутників та поправки годинників, визначені на головній станції управління, з додаткових станцій передаються на космічний апарат шляхом зв'язку по радіоканалу, організованому в S-діапазоні. Оновлення навігаційної інформації на борту супутника один раз за добу. Якщо наземна станція управління вийде з ладу, то кожен супутник передаватиме прогнозовані навігаційні повідомлення, при використанні яких точність визначення місцеположення окремої точки зменшуватиметься поступово.

### **Сегмент користувача Категорії користувачів**

*Військові.* Строго кажучи, термін «сегмент користувача» тісно пов'язаний з концепцією GPS, що входить до національної оборонної програми США. З самого початку розвитку системи планувалось оснастити GPS-приймачем практично кожен важливу оборонну одиницю. Передбачалось, що кожен літак, корабель, автомобіль і навіть кожна група піхоти будуть забезпечені приймачами GPS для координації військових дій. Наприклад, багато приймачів було використано під час бойових дій американських військ проти Іраку в 1991 р. Система SA була вимкнена в цей період, з тим щоб війська змогли використовувати просте і доступне цивільне обладнання. Зокрема, компактні наручні C/A-кодові приймачі виявились особливо корисними у пересуванні по пустелі, позбавленій яких-небудь орієнтирів.

Чимало нових способів застосування GPS з військовою

метою було розроблено зовсім недавно. Зокрема, один з виробників запропонував приймач, який може бути одночасно з'єднаний з чотирма антенами. Якщо розмістити антени у вигляді ґратки (наприклад, у вершинах квадрата), то додатково до місцеположення можна визначити три кути обертання ґратки. Наприклад, розташування антен на носі, кормі та по обох бортах судна дозволить, крім його координат, визначити кильову хитавицю, нахил та короткочасні відхилення корабля від заданого курсу (гасання).

Більш незвичне використання системи полягає у вимірі координат низьких ШСЗ. Приймач GPS, встановлений на борту такого супутника, дасть можливість високоточно оцінити траєкторію ШСЗ із значно меншими зусиллями, ніж інші методи стеження. Наприклад, ефективність таких супутників для дистанційної зйомки Землі, як французький SPOT, значно зросте завдяки використанню приймача GPS на борту цього супутника для точного визначення місцеположення точки фотографування.

*Цивільні.* Цивільне використання GPS виникло на кілька років раніше, ніж це передбачали проектувальники системи. У перші роки розвитку системи головну увагу приділяли навігаційним приймачам. Створення приймача «Макрометр» поклало початок швидкому розвитку геодезичної зйомки за технологією GPS. Головна ідея використання інтерферометричного методу замість доплерівського привела до того, що GPS могла бути застосована не лише для вимірів великих відстаней, але й для високоточного визначення коротких відстаней, наприклад у землемірних роботах.

Сьогодні використання приймачів GPS стало звичайним під час проведення топографічних та геодезичних контрольних зйомок, демаркації кордонів, для високоточного визначення місцеположення літака при фотозйомках, що допомагає зменшити кількість наземних контрольних точок для картографування.

Цілком імовірно, що кількість геодезистів, які застосовують GPS для зйомки, у найближчий час становитиме малу частку загальної сукупності цивільних користувачів. Однією з таких можливостей для використання GPS є управління та стеження за парком рухомих засобів. У деяких містах машини швидкої допомоги зараз оснащуються приймачами та комп'ютерами, на екранах яких зображено мережу міських вулиць. Користуючись радіозв'язком, можна повідомити диспетчеру місце розташування кожної з машин. Це дає можливість оперативного управління згідно з потребами. Розробка подібних систем виконується для поїздів та фрагтових транспортних засобів. Звичайно, у найближчому майбутньому всі повітряні та морські судна будуть оснащені приймачами GPS. Туристи та морські яхтсмени також використовують GPS для визначення координат.

### **Типи приймачів**

Різноманітні методи використання системи GPS однозначно пов'язані з різними типами приймачів. Спираючись на тип величин, які спостерігаються (тобто кодову псевдовідстань та фазу несучої хвилі), та на доступність коду для вимірів (C/A-коду та P-коду), можна означити наступні групи GPS-приймачів радіосигналу з супутника:

- 1) C/A-кодові з вимірюванням псевдовідстаней;
- 2) C/A-кодові з вимірюванням фази несучої хвилі;
- 3) P-кодові з вимірюванням фази несучої хвилі;
- 4) Y-кодові з вимірюванням фази несучої хвилі.

*C/A-кодові приймачі з вимірюванням псевдовідстаней.* У приймачах цього типу вимірюються тільки кодові псевдовідстані з використанням C/A-коду. Приймач виготовляється переважно як компактний наручний пристрій, електричне живлення якого можливе від мінібатарейок. Типові моделі, маючи від одного до шести незалежних каналів прийому, подають або просторові геоцентричні координати (довгота, широта та висота), або координати у певній картографічній

проекції. У ситуації, коли приймач використовується для вимірювань під час руху, доцільніше мати якомога більше каналів для спостережень, оскільки одночасно визначені відстані дадуть більш точні координати. З іншого боку, одноканальні приймачі цілком спроможні задовольнити користувача у випадку стаціонарної станції, коли можливий послідовний режим спостережень. Багатоканальний приймач цього типу може широко використовуватись туристами, яхтсменами та автолюбителями.

*С/А-кодові приймачі з вимірюванням фази несучої хвилі.* У приймачах цього типу можна одержати кодові відстані та фазу несучої хвилі лише на частоті  $L1$ , оскільки С/А-код не накладається на частоту  $L2$ . Це означає, що немає даних на двох частотах.

Більшість приймачів для геодезичної зйомки, що з'явилися на початку розвитку GPS-технології, використовувала С/А-код для виявлення та автоматичного супроводу сигналу GPS на частоті  $L1$ . Переважна більшість інструментів має не менше чотирьох незалежних каналів, у деяких з останніх розробок — дванадцять. Ці приймачі виконують усі функції, властиві раніше згадуваним моделям, та, крім того, записують на який-небудь носій пам'яті виміри кодових відстаней та фази несучої хвилі, позначених мітками часу. Спочатку для цього використовувались переносні комп'ютери та магнітні стрічки. Пізніше з'явилися моделі, запис в яких здійснювався у вмонтовану мікросхему пам'яті.

Для того щоб вимірювати фази на несучій хвилі  $L2$ , у приймачах цього типу використовуються додаткові пристрої, в яких реалізується який-небудь безкодовий метод. Недоліком цього підходу є те, що відношення сигнал/шум цих вимірів стає суттєво меншим, ніж для С/А-кодових вимірів на частоті  $L1$ . Звичайно фаза несучої хвилі на частоті  $L2$  використовується у комбінації з вимірами на частоті  $L1$  для зменшення впливу іоносфери на сигнал і, таким чином, забезпе-

чує більш точне визначення вектора (особливо для великих баз).

Приймачі цього типу знаходять застосування в усіх методах високоточної геодезичної зйомки: статичних, кінематичних, псевдокінематичних тощо.

*Р-кодові приймачі.* У приймачах цього типу використовується Р-код, що дає можливість стежити за несучими хвилями на частотах  $L1$  і  $L2$ . Дані Р-коду отримуються з несучих хвиль шляхом кореляції з точною його копією, яка генерується у приймачі. У 1984 р. було закінчено розробку Р-кодового приймача ТІ-4100 для виконання геодезичної зйомки, визначення місцеположення, а також для навігації. Цей приймач створювався переважно для військового використання, а не цивільного, тому при його створенні могли застосовуватись тільки військові розробки. Виробники цивільних приймачів вперше змогли розпочати працю над Р-кодом приблизно у 1989—1990 рр. Восени 1991 р. Федеральна геодезична контрольна комісія закінчила випробування нового Р-кодового приймача, першого після ТІ-4100. Цей тест показав дві важливі переваги Р-кодових приймачів. По-перше, точність визначення великих за довжиною векторів (100 км) стала дорівнювати кільком сантиметрам. По-друге, застосування методу лінійної комбінації величин фаз несучих хвиль на частотах  $L1$  та  $L2$ , яка носить назву wide-laning (широко-смугова, довгохвильова), дає можливість обчислити вектори середньої довжини (20 км) з тією ж точністю, але із даних відносно короткого десятихвилинного сеансу спостережень.

При увімкненому стані А-S здійснюється заміна відомого Р-коду невідомим Y-кодом, і традиційний метод кореляції більше використовуватись не може. Однак цей приймач може функціонувати в безкодовому або квазібезкодовому режимі, забезпечуючи без знання Y-коду дані фази несучої хвилі та кодових псевдовідстаней для частоти  $L2$ . Стеження за сигналом на частоті  $L2$  здійснюється за допомогою чоти-



рьох методів, які відрізняються лише реалізацією: піднесення сигналу до квадрата, крос-кореляція, кореляція коду з наступним піднесенням до квадрата та метод Z-стеження.

*Y-кодіві приймачі.* У приймачах цього типу забезпечується доступність Р-коду навіть за умови ввімкнення А-S. За допомогою методу кореляції Р-коду із сигналів на частотах  $L1$  і  $L2$  можна отримати виміри кодових відстаней та фаз. Доступ до Р-коду досягається шляхом підключення додаткової інтегральної мікросхеми (АОС) на виході кожного каналу. Ці мікросхеми дозволяють дешифрувати Y-код в Р-код, а також виправити маніпуляції, внесені застосуванням SA. Однак доступ до АОС мають лише користувачі, уповноважені МО США.

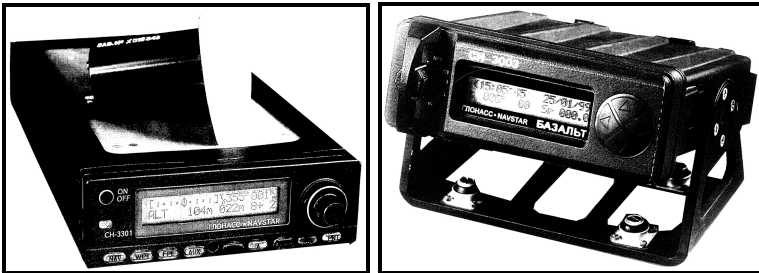


Рис.4.3. Зовнішній вигляд приймачів супутникових навігаційних систем

### 4.3. Система відліку

#### Система відліку координат

Починаючи з 1987 р. GPS використовує як опорну Всесвітню геодезичну референцну систему WGS-84 (World Geodetic System, 1984). В системі WGS-84 поверхнею віднесення є геоцентричний екіпотенціальний еліпсоїд обертання, визначений чотирма параметрами (табл. 4.1). Крім того, інші параметри, такі як коефіцієнт стиснення ( $f= 1/298,2572221$ ) або мала піввісь ( $b= 6\,356\,752,314$  м), можна отримати з теорії екіпотенціальних еліпсоїдів. Значення цих параметрів збережені такі ж, як у Геодезичній референційній системі 1980

р. (GRS-80). Однак у системі GRS-80 зональна гармоніка  $J_2$  була означена за допомогою чисельного значення  $J_2 = 108\,263 \cdot 10^{-8}$ .

Вектор  $X$  у земній системі координат може бути представлений як у декартових  $(X, Y, Z)$ , так і в еліптичних  $(\varphi, \lambda, h)$  координатах (рис. 4.4).

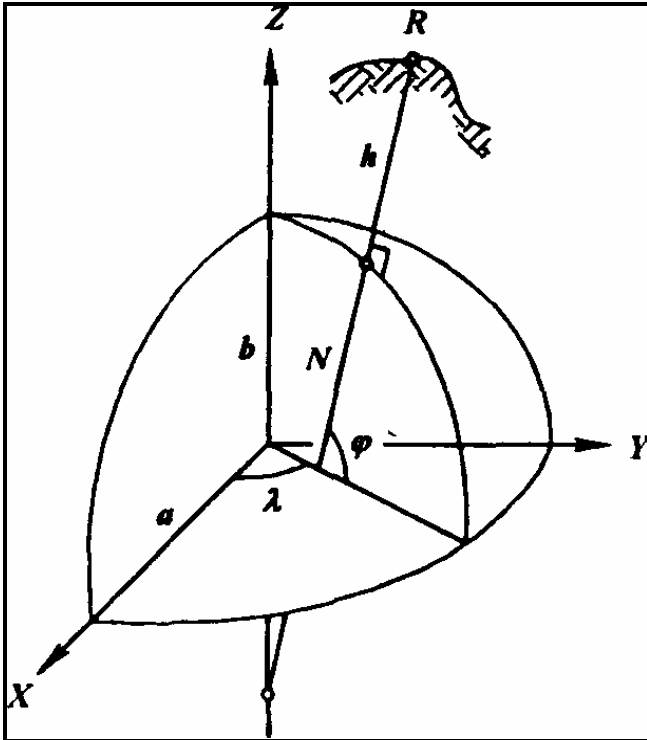


Рис. 4.4. Декартові та еліптичні (геодезичні) координати

Прямокутні координати часто називають геоцентричними (ЕСЕР). Співвідношення між двома системами координат виражається формулою

$$X = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h) \cos \varphi \cos \lambda \\ (N+h) \cos \varphi \sin \lambda \\ \left( \frac{b^2}{a^2} N + h \right) \sin \varphi \end{bmatrix}, \quad (4.3)$$

де  $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$  — відповідно еліптичні довгота, широта та висота;

$N$  — радіус кривини головного нормального перерізу;  
 $a$ ,  $b$  - велика та мала півосі еліпсоїда.

Таблиця 4.1

### Параметри еліпсоїда WGS-84

Параметр, числове значення та розмірність	Фізичний та геометричний зміст
$a = 6378\,137$ м	Велика піввісь
$C_{2,0} = -484.166\,85 \cdot 10^{-6}$	Зональна гармоніка другого степеня
$\omega_E = 7292\,115 \cdot 10^{-11}$ рад*с <sup>-1</sup>	Кутова швидкість обертання Землі
$\mu = 3986005 \cdot 10^8$ м <sup>3</sup> с <sup>-2</sup>	Гравітаційна стала Землі

Системою відліку, до якої відносяться результати GPS, є Всесвітня геодезична референсна система 1984 (WGS-84). Якщо GPS використовується для визначення координат наземних пунктів, то ці координати відносяться саме до цієї системи відліку. Однак не завжди виникає необхідність обчислення координат наземних точок у глобальній системі відліку. Навпаки, на території нашої країни перевага віддається результатам у будь-якій локальній системі координат, в якій визначаються або геодезичні (тобто еліпсоїдальні), або планові (топографічні) координати, або ж вектори, об'єднані з іншими наземними даними. Оскільки WGS-84 є геоцентричною системою, а локальна система відліку не є такою, то потрібні певні перетворення систем відліку. Перетворення координат здійснюється згідно з відповідними математични-

ми розрахунками.

### Системи відліку часу

Сьогодні використовуються декілька систем відліку часу. Вони базуються на декількох видах періодичних процесів, наприклад на явищі обертання Землі (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

#### Системи відліку часу

Періодичний процес	Система відліку часу
Обертання Землі навколо осі	Всесвітній час (UT)
Обертання Землі навколо Сонця	Гринвіцький зоряний час ( $\Theta_0$ )
Атомні коливання	Земний динамічний час (TDT)*
	Барицентричний динамічний час (TDB)*
	Міжнародний атомний час (TAI)
	Всесвітній час координований (UTC)
	Час GPS (GPST)

\* Рішенням XXI Генеральної асамблеї МАС (Буенос-Айрес, 1991) замість вказаних введені нові шкали часу: TT - земний час та TCB - барицентричний координатний час.

*Сонячний та зоряний час.* Мірою повороту Землі навколо своєї осі є годинний кут між меридіаном небесного тіла та опорним (переважно гринвіцьким) меридіаном. Якщо місцевий годинний кут фіктивного Сонця, яке рівномірно переміщується на небесному екваторі, визначити відносно Гринвіцького меридіана і додати 12 годин, то результатом за означенням буде всесвітній час. Зоряний час визначається годинним кутом точки весняного рівнодення. Якщо для відліку прийняти середнє положення рівнодення, то це дасть середній зоряний час, а якщо для відліку прийняти справжнє положення рівнодення, то отримаємо справжній, або видимий, зоряний час. Обидві шкали сонячного та зоряного часу неоднорідні, оскільки кутова швидкість  $\omega_E$  не є сталою.

Флюктуації швидкості частково обумовлені змінами полярного моменту інерції Землі, які виникають через припли-

вні деформації, а також перерозподіл мас іншої природи. Іншою причиною флюктуацій є коливання напряду самої осі обертання Землі. У цьому випадку вводиться скоригований на рух полюса всесвітній час, який позначається як UT1.

*Динамічний час.* Системи часу, визначені на основі руху планет Сонячної системи, називають динамічними. Баріцентричний динамічний час (TDB) є інерціальною системою відліку часу в ньютонівському розумінні, яка забезпечує параметр змінної часу для рівнянь руху. Квазіінерціальний земний динамічний час (TDT), що раніше називався ефемеридним часом, служить для інтегрування диференціальних рівнянь орбітального руху супутників навколо Землі.

*Атомний час.* Практичне втілення динамічних систем часу досягається шляхом застосування атомних шкал часу. Час GPS також належить до цих систем. Всесвітній координований час (UTC) є компромісом. Одиниця виміру часу в системі дорівнює атомній секунді, але для того, щоб утримати час близьким до UT та наблизити його до часу людського суспільства, в окремі моменти виконується корекція на цілочислову кількість додаткових секунд. Час GPS має незмінний зсув 19 с відносно міжнародного атомного часу (TAI) та збігається із часом UTC у стандартну GPS-епоху 1980, січень 6,0<sup>d</sup>.

### Календарні дати

Юліанська дата (JD) означає кількість середніх сонячних днів, які минули після епохи січень 1,5d 4713 р. до н. е.

Модифікована юліанська дата отримується шляхом віднімання від значення JD 2 400 000,5 днів. Ця домовленість зменшує кількість знаків у числах, якими виконуються необхідні математичні обчислення. Крім того, MJD-доба розпочинається опівночі, а не опівдні. З метою повного висвітлення наводимо юліанські дати для двох стандартних епох (табл. 4.3). Таблиця дає можливість обчислити параметр T для ста-

ндартної епохи GPS. Відніmemo відповідні значення JD та поділимо отриманий результат на число 36 525 (тобто кількість днів в юліанському сторіччі), що у результаті дасть  $T = -0,199\ 876\ 7967$ .

Таблиця 4.3

### Стандартні епохи

Цивільна дата	Юліанська дата	Зміст
1980 січень 6.0d	2 444 244.5	Стандартна епоха GPS
2000 січень 1.5d	2 451 545.0	Поточна стандартна епоха (J2000,0)

*Перетворення дат.* Розглянемо співвідношення для перетворення дат таким чином, щоб вони були дійсними тільки для моментів часу між березнем 1900 та лютим 2100 р.

Якщо виразити цивільну дату сумою цілого числа років  $Y$ , місяців  $M$  та днів  $D$ , а також дійсного значення часу в годинах  $UT$ , тоді перетворення цивільної дати в юліанську виконується за допомогою співвідношення

$$JD = INT[365.25y] + INT[30.6001(m+1)] + D + UT/24 + 1720981.5, \quad (4.4)$$

у якому  $INT$  позначає цілу частину дійсного числа, а  $y$ ,  $m$  виражаються в наступний спосіб:

$$y = Y - 1 \quad \text{та} \quad m = M + 12, \quad \text{якщо } M \leq 2,$$

$$y = Y \quad \text{та} \quad m = M, \quad \text{якщо } M \geq 2.$$

Обернене перетворення з юліанської дати до цивільної виконується у кілька кроків. Спочатку обчислюємо допоміжні числа

$$a = INT[JD + 0.5]; b = a + 1537; c = INT[(b - 122.1) / 365.25];$$

$$d = INT[365.25c]; e = INT[(b - d) / 30.6001];$$

Після цього параметри цивільної дати отримаємо за співвідношеннями

$$D = b - d - INT[30.6001e] + FRAC[JD + 0.5],$$

$$M = e - 1 - 12INT[e/14],$$

$$Y = c - 4715 - INT[(7 + M) / 10],$$

(4.5)

де  $FRAC$  позначає дробову частину числа. Побічним у перетвореннях дат є параметр дня тижня, який можна обчислити за формулою

$$N = \text{modulo}\langle INT[JD + 0.5], 7 \rangle, \quad (4.6)$$

де функція  $\text{modulo}$  - це остача від ділення першого аргументу на другий, і отже,  $N = 0$  позначає понеділок,  $N = 1$  - вівторок і т. д.

Наступним завданням є визначення тижня в часі GPS, яке вирішується за допомогою співвідношення

$$WEEK = INT[(JD - 2444244.5)/7] \quad (4.7)$$

Наведені формули можна використати для підтвердження різних дат у табл. 4.3 або для перевірки того, що епоха J2000.0 відповідає суботі 1042-го тижня GPS.

#### 4.4. Орбіти супутників

##### Опис орбітального руху

Застосування GPS суттєво залежить від інформації про орбіти супутників. Якщо визначати місцеположення одним приймачем, то похибка орбіти значною мірою корелює з похибкою місцеположення. У диференціальному варіанті відносна похибка визначення бази за допомогою GPS-вектора дорівнює відносній похибці орбіти.

Орбітальна інформація або оперативно передається із сигналом супутника як навігаційне повідомлення, або може бути отримана з інших джерел (як правило, значно пізніше після спостережень). Активізація (ввімкнення) алгоритму вибіркової доступності (SA) у роботу супутників Block II може призвести до погіршення точності орбіт, які передаються із сигналом, до рівня 50—100 м. Оскільки чимало користувачів потребує більш точних ефемерид, то цивільні споживачі повинні своїми силами визначати точні ефемериди супутників.

*Параметри орбіт.* Розглядаючи лише силу притягання між двома точками масами  $m_1$  та  $m_2$ , що знаходяться на від-

стані  $r$ , та застосовуючи закони механіки Ньютона, рух тіла масою  $m_2$  відносно  $m_1$  визначається з наступного однорідного диференціального рівняння другого порядку:

$$r'' + \frac{G(m_1 + m_2)}{r^3} r = 0, \quad (4.8)$$

в якому

$r$  - вектор відносного положення з нормою  $\|r\| = r$ ,

$r'' = d^2r/dt^2$  - вектор відносного прискорення,

$G$  - універсальна гравітаційна стала,

а параметр часу  $t$  — інерціальний час, який реалізується за допомогою системного часу GPS.

У випадку руху ШСЗ обидва тіла наближено можна вважати точковими масами, а масою супутника у порівнянні із масою Землі ми можемо знехтувати. Добуток  $G$  на масу Землі  $M_E$  позначимо як  $\mu$ . Відомо, що цей параметр є одним із визначальних у системі відліку WGS-84 (див. у табл. 4.1):

$$\mu = GM_E = 3986005 \cdot 10^8 \text{ м}^3 \text{ с}^{-2}.$$

Аналітичний розв'язок диференціального рівняння (4.8) відомий як кеплерів рух, який означається шістьма орбітальними параметрами, що відповідають шести сталим інтегрування векторного диференціального рівняння другого порядку (4.8). Орбіти супутників можна звести до руху по еліпсу за допомогою шести відповідних параметрів, наведених у табл. 4.4. Точка найбільшого зближення супутника з центром мас Землі називається перигеєм, а найбільш віддалена точка — апогеєм. Точки перетину орбітальної та екваторіальної площин зі сферою одиничного радіуса називаються вузлами, а той з них, через який супутник виходить у північну півкулю, називається висхідним. Графічно кеплерова орбіта зображена на рис. 4.5.



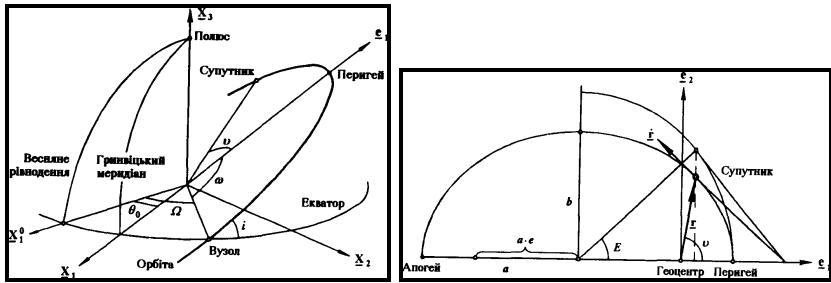


Рис. 4.5. Кеплерова орбіта

Таблиця 4.4

### Параметри кеплерової орбіти

Параметр	Зміст
$\Omega$	Довгота висхідного вузла орбіти
$i$	Нахил площини орбіти до площини екватора
$\omega$	Аргумент (довгота) перигею
$a$	Велика піввісь еліпса орбіти
$e$	Ексцентриситет еліпса орбіти
$T_0$	Епоха проходження супутника через точку перигею

Середня кутова швидкість  $n$  супутника (також відома як середній рух) визначається з третього закону Кеплера:

$$n = \frac{2\pi}{P} = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}}, \quad (4.9)$$

де  $P$  — період обертання ШСЗ.

У орбітах GPS велика піввісь дорівнює  $a = 26\,560$  км. Підстановка цього значення у рівняння (4.2) дає період обертання, що дорівнює 12 зоряним годинам. Тому стеження за супутником з окремої точки на поверхні Землі повторюється кожної зоряної доби.

Миттєве положення супутника на орбіті відображається кутовою величиною, яка (з історичних причин) називається аномалією. У табл. 4.5 перелічені аномалії, що найчастіше

застосовуються. Середня аномалія  $M(t)$  є математичною абстракцією, а ексцентрична  $E(t)$  та істинна  $v(t)$  аномалії мають геометричний зміст (див. рис. 4.5).

Таблиця 4.5

### Аномалії кеплерової орбіти

Позначення	Назва
$M(t)$	Середня аномалія
$E(t)$	Ексцентрична аномалія
$v(t)$	Істинна аномалія

Усі три аномалії можна зв'язати за допомогою співвідношень

$$M(t) = n(t - T_0), \quad (4.10)$$

$$E(t) = M(t) + e \sin E(t), \quad (4.11)$$

$$v(t) = 2 \arctg \left[ \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E(t)}{2} \right], \quad (4.12)$$

в яких  $e$  позначає ексцентриситет.

Рівняння (4.10) виконується за означенням і показує, що середню аномалію можна використати замість  $T_0$  як визначальний параметр. Рівняння (4.11), відоме під назвою кеплерового, є наслідком аналітичного розв'язку інтегрального рівняння (4.8), рівняння (4.12) визначається на підставі чисто геометричних міркувань.

Щоб ближче ознайомитись з різними видами аномалій, припустимо, що існує орбіта з півдобовим за тривалістю періодом та ексцентриситетом  $e = 0,1$ . У момент (епоху), коли минуло 3 години після проходження супутником точки перигею, середня аномалія дорівнює  $M = 90,0000^\circ$ . Обчислення ексцентричної аномалії вимагає проведення ітерацій, які у результаті дають значення  $E = 95,7012^\circ$ . Тоді істинна аномалія дорівнює  $v = 101,3838^\circ$ .

На супутник діють чимало збурюючих прискорень, які призводять до змін у часі елементів кеплерової орбіти. На-

ближено збурення можуть бути поділені на дві групи, а саме — на гравітаційні та негравітаційні (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

### Джерела (причини) збурюючих прискорень

Гравітаційні	Несферична форма Землі Припливне притягання (пряме та непряме)
Негравітаційні	Тиск сонячного випромінювання (прямий та непряий) Атмосферне гальмування Релятивістські ефекти Інші (сонячний вітер, магнітні поля тощо)

Оскільки GPS-супутники обертаються на висоті приблизно 20000 км, то непрямыми ефектами, а також атмосферним гальмуванням можна знехтувати. З іншого боку, форма (а значить, і переріз) супутників нерегулярна, що робить моделювання тиску сонячного випромінювання більш складним. Різноманітність використаних для побудови космічного апарата матеріалів, що мають специфічні характеристики поглинання теплоти, призводить до додаткових ускладнених збурюючих прискорень. Більш того, прискорення можуть виникнути через протікання із контейнерів газової суміші, яка використовується для маневрів супутника на орбіті.

У випадку, коли збурюючі прискорення неможливо подати в аналітичній формі, для розв'язання задачі їх врахування застосовуються чисельні методи.

### Розповсюдження інформації про орбіти

Результати обчислення орбіт, отримані за даними спостережень на пунктах глобальних мереж, точніші та надійніші у порівнянні з ефемеридами, визначеними з регіональних мереж. Зв'язок орбітальної системи відліку із землею досягається шляхом спільного розташування приймачів GPS на станціях РНДБ або ЛЛС. Суттєвим для отримання найвищої

можливої точності є просторовий розподіл GPS-станцій.

Крім сегменту управління GPS існує ще кілька мереж, мета створення яких полягала у визначенні орбіт.

NGS США забезпечує роботу кооперативної міжнародної GPS-мережі (CIGNET), пункти спостережень якої розташовані на РНДБ-станціях. На початок 1994 р. було задіяно 48 станцій. Деякі з них у кінці кожного дня пересилають результати спостережень до центру обробки, де виконується обробка цих даних і вже наступного ранку за допомогою комп'ютерного зв'язку пересилаються результати учасникам мережі. Дані решти станцій отримуються від NGS із затримкою від двох до семи днів, і результати їх обробки з'являються ще на один день пізніше.

Користувачі можуть отримати доступ до результатів стеження на станціях мережі і за наявності відповідних комп'ютерних програм зможуть самостійно обчислити ефемериди. Застосування даних вимірів у інший спосіб полягає у їх сумісному опрацюванні з вимірами, отриманими на локальних за масштабом мережах, з метою обчислення координат цих локальних мереж за алгоритмами релаксації орбіт.

У 1990 р. Міжнародна геодезична асоціація (МГА) вирішила створити Міжнародну геодинамічну службу GPS (IGS), її постійне функціонування розпочалось на початку 1994 р. Головна мета цієї служби полягає в забезпеченні максимальної можливої точності, необхідної для реалізації геодинамічних проектів. Іншим завданням IGS є розгортання діяльності по визначенню орбіт. Мережа складається з головних станцій стеження, до яких додаються проміжні опорні пункти.

Для визначення векторів місцеположення та швидкості супутників у геоцентричній системі відліку в будь-який момент часу можна використати три набори даних. Це дані альманаху, ефемериди, що передаються із супутника, точні ефемериди. Дані відрізняються за точністю (табл. 4.7) і за часом доступності (в реальному часі чи апостеріорна).

### Похибки ефемерид

Ефемериди	Похибки	Коментар
Альманах	Кілька кілометрів	Залежно від моменту останнього оновлення
Передавані (SA ввімкнено)	2—50м	Залежно від рівня SA
Передавані (SA вимкнено)	2—5м	Чи навіть краще
Точні	0.5—1 м	Те саме

### 4.5. Сигнали із супутника

Осцилятори, встановлені на борту супутників, генерують фундаментальну частоту  $f_0$ , стабільність якої протягом однієї доби становить  $10^{-13}$  для супутників типу Block II. Генерація сигналів двох несучих частот у L-діапазоні, які позначаються як  $L1$  та  $L2$ , здійснюється шляхом множення цієї частоти  $f_0$  на цілі числа. Щоб забезпечити мітками часу приймач та передати таку інформацію, як орбітальні параметри, ці несучі хвилі модулюються кодом. Код складається з послідовності станів  $+1$  та  $-1$ , які відповідають двійковим (бінарним) значенням  $0$  та  $1$ . Ця так звана біфазова модуляція (з двома стійкими станами) здійснюється зсуванням фази несучої хвилі на  $180^\circ$  тоді, коли відбувається зміна стану на протилежний (рис. 4.6).

У табл. 4.8 наводиться повний перелік складових частин сигналу та відповідні значення частот.

Щоб забезпечити показ відліку міток часу, використовуються два коди, які за характером є псевдошумовими (PRN) послідовностями. Код низькоточного стеження (C/A-код) має частоту  $f_0/10$  і повторюється через кожну мілісекунду. Точний код (P-код) з частотою  $f_0$  має інтервал повторення приблизно один раз за кожні 266,4 доби. W-код використовується для шифрування P-коду Y-кодом, коли використовується A-S. Кодування навігаційного повідомлення потребує 1500 бітів, за умови, що частота кодування дорівнює 50Гц, необ-

хідний для передачі час становить 30 с.

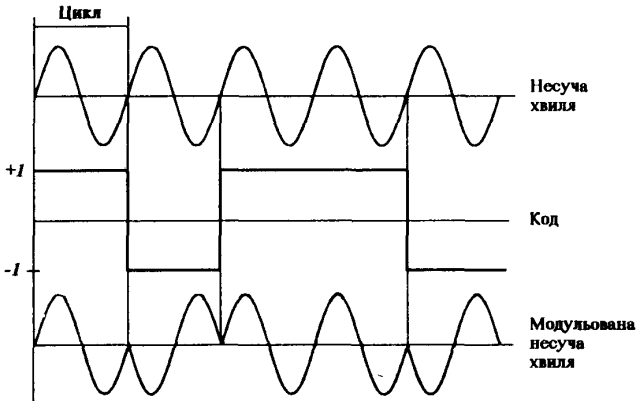


Рис. 4.6. Біфазова модуляція фази несучої

Таблиця 4.8

### Складові частини сигналу з супутника

Складова частина	Частота, МГц
Фундаментальна частота	$f_0 = 10,23$
Несуча частота сигналу L1	$154f_0 = 1575,42 (= 19,0\text{см})$
Несуча частота сигналу L2	$120f_0 = 1227,60 (= 24,4\text{см})$
P-код	$f_0 = 10,23$
C/A-код	$f_0/10 = 1,023$
W-код	$f_0/20 = 0,5115$
Навігаційне повідомлення	$f_0/204600 = 50 \cdot 10^{-6}$

Навігаційне повідомлення головним чином вміщує інформацію про годинник на супутнику, орбіту і технічний стан апаратури супутника, а також дані різноманітних поправок. Як показано в табл. 4.9, усе повідомлення, що складається з 1500 бітів, поділене на кілька сегментів. Кожен із цих сегментів передається протягом 6 с і містить 10 слів по 30 бітів кожне. Тому проміжок часу, необхідний для передачі одного слова, дорівнює 0,6 с.

Кожен сегмент починається зі слова телеметричної інформації (TLM), яке містить синхронізуючі імпульси, а також

деякі діагностичні повідомлення. Друге слово у кожному сегменті є синхронізуючим (HOW). Крім ідентифікації, воно містить номер, який після множення на 4 дає показ лічильника часу тижня (TOW) для епохи початку наступного сегмента (по фронту).

Таблиця 4.9

### Схема навігаційного повідомлення

Кількість бітів		Тривалість передачі, с
Все повідомлення	1500	30
Сегменти (1-5)	300	6
Слово (1-10)	30	0,6

Перший сегмент містить номер GPS-тижня, прогноз точності визначення відстані користувачем, показчики справності супутників та моменту останнього оновлення даних, а також три коефіцієнти квадратичного полінома для моделювання поправок годинника на супутнику.

У другому та третьому сегментах передаються ефемериди супутника.

Зміст четвертого та п'ятого сегментів змінюється кожної передачі і має інтервал повторення 25. Таким чином, уся інформація містить 25 так званих сторінок і потребує для передачі 12,5 хв. Багато сторінок четвертого сегмента зарезервовано для військових потреб, решта містить інформацію про іоносферу, дані про UTC, різноманітні показчики, а також дані альманаху (тобто низькоточні орбітальні дані) для всіх супутників, кількість яких може перевищувати номінальну конфігурацію. Сторінки п'ятого сегмента призначені, головним чином, для альманаху та інформації про стан перших 24 супутників, які є на орбіті. Сторінки четвертого та п'ятого сегментів передаються кожним супутником. Тому навіть спостереження за одним супутником можуть дати інформацію про дані альманаху для всіх супутників, що знаходяться на орбіті.

Сигнал, що передається із супутника, задається формулою

$$\begin{aligned} L1(t) &= a_1 P(t) D(t) \cos(f_1 t) + a_1 C / A(t) D(t) \sin(f_1 t), \\ L2(t) &= a_2 P(t) D(t) \cos(f_2 t), \end{aligned} \quad (4.13)$$

яка містить три складові, записані в наступній символічній формі:  $(L1, C/A, D)$ ,  $(L1, P, D)$ ,  $(L2, P, D)$ . Сигнал  $C/A$ -коду на частоті  $L1$  удвічі потужніший, ніж сигнал  $P$ -коду на  $L1$ . Таке саме співвідношення має місце для сигналів  $P$ -коду на частотах  $L1$  та  $L2$ .

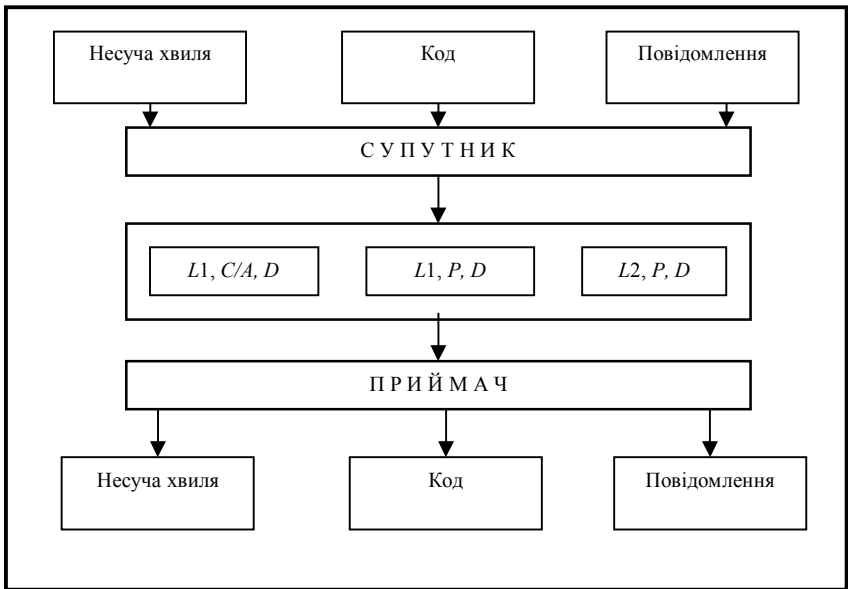


Рис. 4.7. Принцип обробки сигналу

Мета обробки сигналу приймачем GPS полягає у відновленні складових частин сигналу, включаючи реконструкцію несучої хвилі і виявлення кодів для визначення показів супутникових годинників та навігаційного повідомлення. Схема самого принципу відтворена на рис. 4.7.



#### 4.6. Конструкція приймача

Існує понад 100 приймачів, які використовуються для різних потреб (навігація, геодезична зйомка, передача міток часу) та мають свої особливості побудови. Незважаючи на цю різноманітність, усі приймачі демонструють деякі спільні принципи.

Приймач має функціональні елементи для прийому та обробки сигналу. Концепція побудови приймача відображена на рис. 4.8.

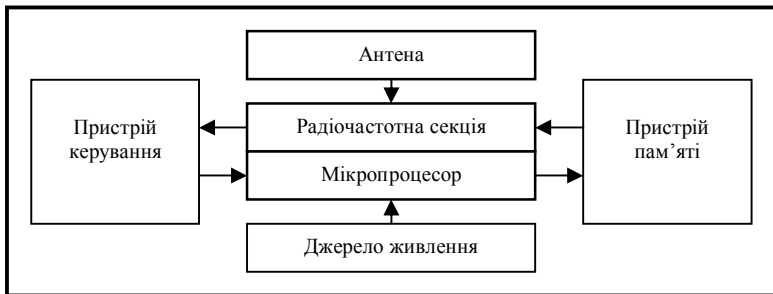


Рис. 4.8. Концепція побудови приймача

Сигнали, що передаються з усіх супутників, які знаходяться над горизонтом, реєструються за допомогою антени, здатної виконувати прийом у всіх напрямках (всенапрямлена антена). Після попереднього підсилення в антені ці сигнали посилюються до радіочастотної секції. Антена може бути збудована для прийому лише головної несучої хвилі  $L1$  або ж як для  $L1$ , так і для  $L2$ .

Важливим критерієм, що враховується під час проектування антени, є чутливість фазового центра. Електричний центр повинен бути близьким до фізичного, а також нечутливим до обертань чи нахилень антени. Це особливо важливо для кінематичних застосувань, коли антена рухається під час вимірювань. Крім цього, антена повинна бути оснащена блоком підсилення, який здійснює фільтрацію сигналів, що при-

йшли під малим кутом місця або із додатковим відбиттям (додаткове відбивання сигналу від поверхні Землі або інших перешкод (будинки, провід, дерево і т. ін.) впливає на точність реєстрації кодованого сигналу).

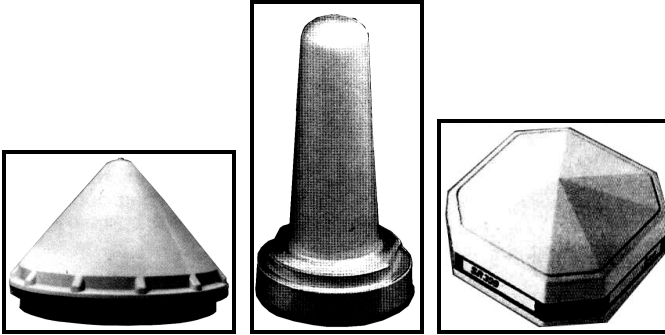


Рис. 4.9 . Види антен супутникових навігаційних систем

Мікропроцесор виконує контроль та керування всією системою, а також дає можливість здійснювати навігацію в реальному часі за допомогою вимірів кодових псевдовідстаней. Пристрій керування забезпечує користувачеві можливість зв'язку з приймачем, під час якого можна ввести певні команди керування та отримати на виході діагностичні та інші повідомлення. Тому цей пристрій створюється у вигляді клавіатури з дисплеєм.

Пристрій пам'яті призначено для зберігання результатів спостережень, а також навігаційного повідомлення, з тим щоб вони були доступними для подальшої обробки. Використовуються різноманітні засоби електронної пам'яті: мікросхеми, магнітні компакт-касети, магнітні дискети та інші засоби неруйнівного запису інформації. Крім цього, приймач може бути підключений до зовнішнього комп'ютера.

Чимало приймачів мають внутрішнє джерело енергії - акумуляторну батарею, але завжди є можливість підключення зовнішніх акумуляторів або інших джерел електричного живлення.

#### **4.7. Методи спостережень**

Вибір методу спостережень залежить від вимог конкретного проекту, серед яких головну роль відіграє вимога до точності.

##### **Визначення місцеположення пункту окремим приймачем**

Якщо використовувати один приймач, то має сенс лише визначення місцеположення окремої точки із значень кодових псевдовідстаней. Для цього GPS забезпечує два рівні доступності: стандартна служба визначення місцеположення (SPS) та високоточна служба визначення місцеположення (PPS).

Для SPS доступний лише C/A-код та впроваджується SA. Це обмежує точність визначення (у реальному часі) горизонтальних складових місцеположення до 100 м, а вертикальної складової - до 156 м при довірчій імовірності 95 %. Якщо рівень довірчої імовірності підвищити до 99,99 %, то точність горизонтальних складових місцеположення зменшиться до рівня 300 м, а вертикальної складової - до рівня 500 м.

Служба PPS забезпечує доступ до обох кодів. Для довірчої ймовірності 95 % точність горизонтальних складових місцеположення становить 16 м, а вертикальної - 23 м. Доступність до PPS встановлена головним чином для військових використань. Однак ця служба буде доступною також для урядових користувачів (військових і цивільних), з якими МО США укладатиме спеціальні угоди.

##### **Диференціальна GPS**

Якщо використовуються два приймачі (чи більше), то може бути застосований метод диференціальної GPS (DGPS), коли один опорний чи зафіксований приймач розташовано на станції з відомими координатами і ставиться завдання визначити місцеположення рухомого (як правило) приймача. Одночасно на обох станціях здійснюється стеження щонаймен-

ше за чотирма супутниками. Відоме місцеположення зафіксованого приймача використовується для обчислення поправок до отриманих за допомогою GPS місцеположень або до вимірних кодових відстаней. Потім ці поправки передаються телеметрично (тобто за допомогою керованих радіоканалів) на рухомий приймач, що дає можливість обчислити його місцеположення точніше, ніж в режимі відокремленого приймача.

Альтернативою режиму навігації є оглядовий режим, коли віддалені приймачі передають результати вимірювань на опорну (зафіксовану) станцію, де обчислюється їх точне місцеположення. Цей режим огляду має ту перевагу, що рухомий (наприклад, бортовий) приймач не повинен виконувати великої кількості обчислень.

Для GPS-користувачів вимоги до точності є досить різними - від сотень метрів до сантиметра. Дуже велика група користувачів зацікавлена в точності на рівні 1-10м при визначенні місцеположення в реальному часі. Такої точності в режимі окремого приймача отримати неможливо (через SA), але її можна досягти за допомогою DGPS. Ця спроможність базується головним чином на тому факті, що джерела похибок GPS дуже подібні у радіусі, приміром 500 км, і тому майже повністю усуваються за допомогою диференціального методу.

За умови використання C/A-кодових відстаней завжди можна досягти точності на рівні 3—5 м. Для того щоб отримати субметровий рівень, слід використовувати кодові відстані, згладжені фазою, або високоточні C/A-кодові приймачі. Ще вищої точності можна досягти шляхом використання фаз несучих хвиль. Взагалі, цей метод потребує двочастотних приймачів, за допомогою яких відносні місцеположення визначаються кінематичним методом на ходу, коли можна досягти дециметрового (чи меншого) рівня точності для відстаней до 20 км. Щоб досягти такої точності, потрібно на

ходу визначати цілочислову неоднозначність фази.

Суттєвим аспектом DGPS є канал зв'язку, яким передаються дані. Радіозв'язок потребує сумісного устаткування на опорному та рухомому пунктах. Для збереження високої точності за умови застосування SA може бути необхідною висока швидкість передачі даних, що у свою чергу обумовлює необхідність передавати велику кількість інформації за короткий проміжок часу. Характерною рисою SA є варіація похибки псевдовідстані з амплітудою 100м та періодом близько 10 хв. Отже, оновлення поправок з періодом 10 с чи менше ефективно зменшує вплив SA до рівня 2 м.

### Визначення відносного місцеположення

Мета визначення відносного місцеположення полягає у обчисленні координат невідомої точки відносно відомої, яка в переважній більшості застосувань залишається нерухомою. Іншими словами, визначення відносного місцеположення спрямоване на обчислення вектора між двома точками, який часто називають базою. На рис. 4.1 точка  $A$  позначає опорну точку, точка  $B$  — невідому, а  $b_{AB}$  - вектор бази.

Вводячи відповідні вектори місцеположення  $X_A$  та  $X_B$ , можна утворити співвідношення

$$X_B = X_A + b_{AB}, \quad (4.14)$$

а формула для компонентів вектора бази  $b_{AB}$  матиме вигляд

$$b_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix}. \quad (4.15)$$

Визначення відносного місцеположення найбільш ефективне, якщо здійснюються одночасні спостереження (супутників) як в опорній, так і в невідомій точці. Одночасність означає збіг міток часу спостережень. Припустимо, що у

двох точках  $A$  та  $B$  здійснюються такі одночасні спостереження супутників  $j$  та  $k$ . Тоді можна утворити лінійні комбінації – одиничні, подвійні, потрійні різниці тощо.

Сьогодні точності геодезичного рівня отримують лише шляхом відносного визначення місцеположення на підставі спостережуваних фаз несучої хвилі. Обчислення вектора бази вимагає, щоб фази спостерігались одночасно в обох точках кінців бази. Тому із самого початку відносно визначення місцеположення було можливе лише шляхом обробки даних після завершення спостережень. Однак передача даних у реальному часі на коротких базах дає можливість оперативно обчислювати вектор бази.

*Визначення відносного місцеположення статичним методом.* Під час статичного визначення відносного місцеположення приймачі у точках бази  $A$  і  $B$  залишаються нерухомими. Тоді, розглядаючи точку  $B$  і супутник  $j$  в статичному випадку геометрична відстань визначається за формулою

$$\rho_B^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_B)^2 + (Y^j(t) - Y_B)^2 + (Z^j(t) - Z_B)^2}, \quad (4.16)$$

Статичний метод геодезичної зйомки найпоширеніший у використанні, оскільки його єдиною вимогою є безперешкодна видимість неба на пунктах спостережень. Взагалі статичні геодезичні зйомки вимагають тривалості спостережень від 10 до 120хв залежно від довжини бази, кількості видимих супутників, геометричної конфігурації та використовуваного методу. Для практичних застосувань можна досягти точності  $\pm 1 * 10^{-6}$ , або 1мм для баз довжиною 1 км.

Визначення відносного місцеположення статичним методом також включає коротший (наприклад, 2-хвилинний) метод, що базується на методах швидкого оцінювання цілочислових невизначеностей фази. Необхідними умовами є наявність двочастотних приймачів та оптимальна геометрія супутників. Якщо цей метод обмежити базами довжиною до 10 км, то можна досягти точності  $\pm(5 \text{ мм} + 10^{-6})Д$ .

Типово статична геодезична зйомка використовується для державних, регіональних та локальних контрольних вимірів, фотозйомки, прикордонної зйомки, моніторингу деформацій.

*Визначення відносного місцеположення кінематичним методом.* Під час кінематичного визначення відносного місцеположення приймач у відомій точці бази  $A$  залишається нерухомим. Другий приймач рухається, і потрібно визначити його місцеположення в довільні епохи. Моделі одиничних, подвійних та потрійних різниць тощо неявно містять рух, що описується геометричною відстанню. Тоді, розглядаючи точку  $B$  і супутник  $j$  в кінематичному випадку геометрична відстань визначається за формулою

$$\rho_B^j(t) = \sqrt{(X^j(t) - X_B(t))^2 + (Y^j(t) - Y_B(t))^2 + (Z^j(t) - Z_B(t))^2}, \quad (4.17)$$

Кінематичні методи зйомки, в яких найбільша кількість точок може бути визначена в найкоротший строк, характеризуються як найпродуктивніші. Статичний метод GPS вимагає, щоб супутники рухались по небу, тоді як кінематичний метод не потребує цього. Тому для кінематичної зйомки буде корисним запропоноване поєднання GPS з геостаціонарними супутниками. Кінематичні геодезичні зйомки вимагають суттєвих зусиль для рекогносцировки, оскільки не лише самі пункти спостережень, але й шлях, який долається між пунктами, повинні бути вільні від перешкод. Від кінематичної геодезичної зйомки вимагається, щоб стеження чотирьох чи більше супутників підтримувалось протягом всієї тривалості зйомки. Практично це означає, що рухомий приймач не може пересуватись під деревами або надто близько до стовпів електромереж, до будинків та магістралей різних комунікацій. Кінематична зйомка найбільш придатна для широких відкритих місцевостей, де мало перешкод. Кінематичний метод можна використати для того, щоб визначити місцеположення приймача, встановленого на всюдиході, який проїжджає дану

територію серіями ліній перерізу. Тривимірні координати цього приймача, встановленого на всюдиході, можна визначити з високою точністю (кілька сантиметрів), отже, можна підготувати точну топографічну карту місцевості.

Напівкінематичний метод, або метод стій-та-іди характеризується додатковими зупинками та переміщеннями одного приймача; підвищена увага приділяється місцям зупинок, координати яких треба визначити. Найважливішою особливістю цього методу є збільшення точності після усереднення даних, зібраних протягом кількох епох. Часто цей метод називають кінематичною геодезичною зйомкою.

Кінематичний метод визначення місцеположення на ходу ідентичний швидкому статичному методу. У цьому методі можуть використовуватись одночастотні приймачі, якщо похибки визначення псевдовідстаней достатньо малі, наприклад 10 см. Цей метод діє найкраще за умови використання двочастотних всехвильових приймачів, які здійснюють вимірювання фаз несучих хвиль та кодових відстаней на обох частотах. Початковий вектор визначається за допомогою диференціальних даних про псевдовідстані та шляхом застосування фільтра Кальмана. Після цього цілочислові неоднозначності фази визначаються за допомогою алгоритму пошуку, в якому здійснюється вибір між кількома кандидатами. У випадку одночастотних приймачів це було б кінцевим розв'язком. Але для двочастотних приймачів використовується початковий розв'язок, для того щоб полегшити пошук широко-смугових неоднозначностей, після чого виконується обчислення систематичних зсувів через неоднозначність фази на частоті  $L1$ . Випробування цієї процедури показало, що бази довжиною 20 км можна визначити із сантиметровою точністю менше ніж за три хвилини.

*Визначення відносного місцеположення псевдокінематичним методом.* Подібним до статичного є псевдокінематичний метод геодезичної зйомки. Він також носить назву урив-



частого статичного методу, або методу із повторним ставанням на пункт. Він вимагає меншої тривалості спостережень, але потрібно двічі ставати на кожну пару точок. Типово розклад включає вимірювання на парі точок протягом 5 хв, переміщення на інші точки і, нарешті, повернення на першу пару точок приблизно через годину після початкової сесії для виконання другої п'ятихвилинної сесії. Використовуючи псевдокінематичний метод, можна досягти субметрової точності, головним чином завдяки зміні конфігурації видимих супутників. Головна перевага псевдокінематичного методу полягає в тому, що за даний проміжок часу спостережень можна визначити більше пунктів, ніж звичайним статичним методом. Якщо порівнювати з кінематичним методом, то можна допускати перерви стеження і кількість супутників не відіграє такої суттєвої ролі. Підтримувати стеження за сигналом під час переїздів між пунктами не потрібно. Під час руху приймач можна навіть вимкнути. Головним недоліком є необхідність повторного приїзду (вставання) на пункт. Це призводить до того, що застосування методу обмежується локальними зйомками. Тому головним конкурентом цього методу є метод швидкого статичного визначення місцеположення, в якому на кожну точку треба ставати лише один раз. Типові псевдокінематичні застосування включають фотозйомку, контрольні вимірювання низького класу, маркшейдерську зйомку тощо.

На практиці найкраще використовувати комбінацію цих трьох методів. Наприклад, статичний та псевдокінематичний методи можна застосувати для розробки широкої контрольної мережі та встановлення точок з довільних боків таких перешкод, як мости. Після цього, використовуючи ці статичні точки для контролю та перевірки, застосовуються кінематичні геодезичні зйомки для визначення координат переважної частини точок. Для таких змішаних зйомок важливо виконувати детальну рекогносцировку.

Для того щоб забезпечити опорну систему віднесення для наступних геодезичних зйомок та мати можливість виконати перетворення результатів GPS до національних систем відліку, використовуються два типи контрольних мереж GPS, а саме: мережі пасивного контролю і системи активного контролю та стеження. Пасивна концепція полягає у встановленні зв'язку між контрольними мережами GPS та існуючими вежами триангуляції і реперами нівелювання. Недоліком є те, що потрібно отримувати виміри в багатьох точках, які потім необхідно зберігати. Однак ця система прийнятна, якщо існують густі національні мережі триангуляції і коли контрольна мережа має ще й інше призначення.

Метою системи активного стеження і контролю є обчислення та розповсюдження (близьке до реального часу) диференціальних поправок для користувачів з одним приймачем, а також обчислення точних ефемерид для обробки після проходження супутників. Збирання та розповсюдження даних здійснюється з використанням швидкісних наземних та супутникових ліній зв'язку.

### **Визначення відносного місцеположення за методикою змішаного типу**

Комбінація статичної і кінематичної GPS-зйомки веде до розривного руху. Рухомий приймач зупиняється в точках, де виконується зйомка. Отже, в кожній точці здійснюється вимір більше, ніж на одну епоху. Оскільки траєкторія між точками зйомки нас не цікавить, то відповідні дані можна не розглядати. Однак стеження під час руху не повинно бути перерваним, у протилежному випадку потрібно буде здійснити нову ініціалізацію (тобто визначення стартового вектора).

Псевдокінематичний метод вимагає, щоб у кожній точці зйомки виміри виконувались двічі. Підтримувати стеження у

проміжку між двома ставаннями на пункт не потрібно. По суті це означає, що приймач може бути вимкнений під час пересування.

Дані псевдокінематичних спостережень реєструються та обробляються так, як і дані статичних спостережень. Виміри, зроблені безпосередньо під час пересування приймача, не беруться до уваги. Математична модель, наприклад, для подвійних різниць відповідає рівнянню, в якому потрібно визначити в цілому два набори фазових невизначеностей, оскільки на пункт стають двічі в різний час. Обробку даних можна розпочати з розв'язання для потрібних різниць кількахвилинних даних, зареєстрованих під час двох сесій на пункті. Спираючись на цей розв'язок, обчислюємо зв'язок між двома наборами параметрів фазових невизначеностей. Цей метод працює лише у випадках, коли розв'язок на основі потрібних різниць досить точний (приблизно в 30 см). Після успішного зв'язування невизначеностей виконуються звичайні розв'язання на основі подвійних різниць.

Важливим фактором, який впливає на точність, є проміжок часу між двома ставаннями на пункт. Цей проміжок повинен становити не менше однієї години. Розв'язок залежить від зміни геометрії розміщення супутників відносно приймачів.

#### **4.8. Модулі програмного забезпечення**

Програмне забезпечення (і відповідний приймач) повинно задовольняти певні вимоги користувача. Для переважної більшості застосувань усі можливі особливості не потрібні.

Переважна більшість модулів програмного забезпечення створена для персональних комп'ютерів (ПК). Деякі з програм використовуються в приймачі, тоді як інші діють інтерактивно (у діалоговому режимі) між ПК та приймачем (або з іншими пристроями).

Модулі програмного включають:

1. Планування.

2. Пересилання даних.
3. Обробка даних.
4. Перевірка якості даних та результатів їх обробки.
5. Вирівнювання мережі.
6. Керування базами даних.
7. Сервісні програми.
8. Зручність у користування.

### Планування

*Видимість супутників.* Під час планування використання GPS-системи часто потрібно мати таблицю видимості, в якій наводиться перелік видимих місць розташування супутників. Корисними є дані про моменти сходу та заходу супутників. Крім таблиць видимості корисною є полярна діаграма видимих місць окремих супутників. Важливою є можливість вводу схеми перешкод на пунктах в обох кінцях бази для того, щоб визначати сукупну видимість супутників на цій базі.

*Геометрія (взаємне розташування) супутників.* Значення коефіцієнта DOP мають сильну кореляцію з геометрією супутників і з кількістю видимих супутників. Таблиця або графік для DOP допомагає вибрати періоди із сприятливою геометрією. Особливо важливо це для кінематичних геодезичних зйомок.

*Моделювання.* Для планування використання GPS-системи можна використати моделювання. Твірна матриця, що дає змогу обчислити матрицю співмножників залежить від розподілу пунктів, періоду спостережень, а також тривалості спостережень. Зважаючи на різноманітні завдання геодезичної зйомки щодо критерію оптимізації, у деяких випадках прагнуть до максимальної точності, а в інших — до мінімальності витрат. Програмне забезпечення може також допомогти плануванню маршрутів пересування між пунктами, що дасть можливість зекономити час та зусилля.

## Пересилання даних

*Пересилання даних на комп'ютер.* Після завершення геодезичної зйомки дані, що зберігаються в кожному приймачі, потрібно переслати на комп'ютер. Залежно від пристрою пам'яті для пересилання цих даних існує декілька можливостей. Один метод полягає в копіюванні даних на касету чи дискету з використанням кабелю або радіоканалу зв'язку, за іншим методом файли з приймача безпосередньо копіюються на магнітний диск пам'яті комп'ютера.

*Декодування даних.* Переслані дані часто декодуються із спеціального компактного формату приймача до уніфікованого бінарного формату. Для забезпечення файлами, що потрібні для подальшої обробки даних, використовується програмне забезпечення, яке дає навігаційне повідомлення (наприклад, передані з супутників ефемериди), спостережувані величини (кодові відстані, фази несучих хвиль, доплерівські дані тощо), а також інша інформація.

Важливою особливістю програмного забезпечення є спроможність здійснювати перетворення вимірів до формату RINEX. Переважна більшість обмінів даними використовує цей формат, для того щоб дані з двох різних типів приймачів могли бути використані для обробки вектора бази.

## Обробка даних

*Вибір бази.* Для проектів, в яких вимірюється більше ніж один вектор бази, існують різні комбінації баз, які можна обчислити. Програмне забезпечення обробки повинне надавати можливість вибору для обчислення окремих векторів баз (в усіх можливих комбінаціях) або для обчислення многоточкових векторів (де для  $n$  пунктів існує  $n - 1$  незалежних баз). Повинне бути можливим втручання користувача у вибір баз. Корисною також є можливість об'єднувати різні сесії спостережень.

*Ефемериди.* Ефемериди, що передаються із супутника,

потрібно перетворити в орбітальний файл, в якому координати супутників задані на вибрані епохи. Координати супутників в інші епохи звичайно знаходяться шляхом інтерполяції з кількох вибраних епох. Для високоточних геодезичних зйомок суттєвою є також можливість використання, крім переданих, точних ефемерид.

*Обробка кодових даних.* Спочатку, перед тим як обчислити вектор бази, потрібно з кодових псевдовідстаней визначити координати кожного з кінцевих пунктів бази. Для станцій з відомими координатами інформація про зсув годинника приймача є більш точною.

Корисними є модулі, які створюються для диференціальної обробки кодових даних, отриманих на двох чи більше пунктах.

*Обробка фазових даних.* Існує багато варіантів обробки фазових даних. Можуть бути використані або необроблені фази, або одиничні, подвійні чи потрійні різниці фаз для однієї чи обох частот. Існує також декілька залежних від частоти комбінацій, таких як одночастотні, двочастотні, безіоносферні та ін. Крім цього, бажано зробити можливим використання комбінації кодових відстаней та фази, а також фазових та доплерівських даних.

*Коваріаційні матриці.* Для різних комбінацій даних коректне моделювання коваріацій може бути досить складним. Програмне забезпечення повинно враховувати найбільш поширені випадки, такі як коваріації для подвійних різниць як в однобазовому, так і в багатоточковому режимі.

*Оцінювання параметрів.* Програмне забезпечення передбачає можливість вибору параметрів, які потрібно оцінювати, а також методи їх оцінювання.

Обчислення координат векторів баз. Воно включає статичний, кінематичний та псевдокінематичний методи зйомки. Повинен бути доступним вибір однобазового або багатоточкового режиму. Корисною також є можливість об'єднання

різноманітних сесій.

**Невизначеності.** У першому вирівнюванні невизначеності обчислюються як дійсні значення. Потім, використовуючи різні методи, невизначеності фіксуються як цілочислові значення. У подальших вирівнюваннях невизначеності підставляються як відомі параметри. Корисною може виявитись можливість зміни цілочислових значень невизначеностей на одиницю.

**Моделювання атмосфери.** Повинна бути можливість вибору різних варіантів моделювання атмосфери. Крім стандартних моделей атмосфери, потрібні інші різноманітні моделі іоносфери та тропосфери, які дозволяють оптимізувати обробку даних, особливо для великих довжин баз.

**Орбіта.** Звичайно потрібне деяке оцінювання ефективності обчислення орбіти. Воно базується на значеннях шести параметрів орбіти супутників та відповідних частинних похідних (оскулюючих еліпсах). Іноді шляхом визначення вектора зсуву вводяться лише три невідомі параметри орбіти.

### **Перевірка якості даних та результатів обробки**

**Аналіз даних.** Для успішного аналізу даних необхідне надійне програмне забезпечення. Великі похибки повинні автоматично виявлятися та усуватися. Важливим також є автоматичне виявлення стрибків фази. Чудовим інструментом для візуалізації похибок, таких як стрибки фаз, є побудова графіків. Для розуміння якості даних корисним також може бути перелік відновлених стрибків фази.

**Статистичні дані.** Крім оцінюваних параметрів, повинні бути обчислені апостеріорні коваріаційні матриці для пунктів та баз.

Для перевірки однорідності даних можна також використати залишки, які знаходяться в результаті вирівнювання баз. На графіку цих залишків легко бачити грубі похибки. Завдяки цьому невдалі виміри можна виявити та виключити з обробки.

*Зімкнення петель.* Найбільш прямим методом контролю якості є обчислення зімкнення петель. Найкращі програми аналізу петель дають користувачу можливість вибрати довільні петлі шляхом вказання різноманітних маршрутів за допомогою ідентифікаторів вузлів.

### **Обробка мережі**

*Вирівнювання GPS-мереж.* Кінцевим результатом обчислення векторів баз є різниці координат ECEF. Тоді координати точок визначаються шляхом об'єднання цих різниць координат при вирівнюванні мережі, де фіксується одна або більше точок.

*Перетворення систем відліку та координат.* Для того щоб зсунути, промасштабувати та повернути всю оцінювану мережу по відношенню до зафіксованої контрольної мережі, здійснюється семипараметричне перетворення подібності. Відповідна програма є важливою частиною виконання геодезичної GPS-зйомки. Перетворення систем координат повинно включати параметри тих координатних систем, які часто використовуються (державні планові мережі). Важливо, щоб таке програмне забезпечення виконувало перетворення ECEF-координат до геодезичних (широти, довготи, висоти) та відображення геодезичних координат на площину (Гаусса—Крюгера).

*Об'єднання гібридних даних.* Коли об'єднуються GPS- та традиційні виміри, корисними є більш гнучкі програми вирівнювання мережі, що дають можливість обробляти як GPS-вектори, так і виміряні традиційними методами кути, відстані, а також різниці перевищень. Комбінування результатів GPS з будь-яким іншим різновидом даних оптимально здійснюється за допомогою методу середньої квадратичної колокації.

### **Керування базами даних**

*Архівація даних та результатів геодезичної зйомки.* Виміряні дані геодезичних GPS-зйомок слід організувати у ви-



гляді бази даних. Це дозволить використовувати ці дані для повторних обчислень. Наприклад, слід зважати на можливість повторного обчислення з використанням високоточних ефемерид замість переданих із супутника або з використанням зміненого набору відправних точок. Крім того, при необхідності, результати обробки повинні бути здані в архів у вигляді бази даних. Це забезпечить легку доступність до даних з будь-якою метою. Під час розміщення даних у архіві можна використати програми ущільнення файлів.

*Зв'язок з іншими базами даних.* Для прив'язки до контрольних точок державної мережі і визначення, які точки слід використовувати для цього, корисною є діаграма, на якій показано розташування точок державної опорної мережі і пунктів проекту.

Для зв'язку з Географічною інформаційною системою (ГІС) геодезичні дані включаються у вигляді накладених файлів чи САД-файлів, що дає можливість користувачу проглянути та ясно зрозуміти фактичне розташування пунктів.

### **Сервісні програми**

*Редагування файлів.* Час від часу необхідно редагувати файл даних. Наприклад, можна усунути зашумлені дані на певні епохи, об'єднати дані з уривчастих файлів або поділити великі файли на менші.

*Перетворення часу.* Крім GPS-часу існують інші корисні системи часу, такі як григоріанська дата, модифікована юліанська дата та ін.

*Документування результатів.* Кінцеве оформлення проекту повинно містити повний перелік результатів. Щоб результати геодезичної зйомки були зрозумілими, корисними є різноманітні карти, діаграми, графіки.

### **Зручність використання**

*Комп'ютерна сумісність.* Вимоги до комп'ютерів мають бути мінімальними. Однак програмне забезпечення повинно підходити для широкого кола комп'ютерів. Програмне забез-

печення, наскільки це можливо, повинно бути незалежним від типу комп'ютера.

*Час на виконання обробки.* Звичайно, вирішальною проблемою є час на обчислення, який безпосередньо залежить від складності програмного забезпечення. Використання окремих баз як тестового критерію є прийнятним методом перевірки швидкодії різних програм.

*Застосування в реальному часі.* Комплекси «програмного забезпечення устаткування», спроможні діяти в реальному часі, стають все важливішими для диференціальної навігації в реальному часі та для геодезичної зйомки при позначенні кордонів. Для цього типу застосування GPS важливим фактором є лінії зв'язку.

*Дані.* Слід забезпечити можливість додавати один чи більше наборів даних для певного пункту, створюючи більшу єдину множину даних. Прикладом є об'єднання двох сесій спостережень, виконаних на пункті. Важливим є засіб для перезапису спостережних даних до формату RINEX, можливість використання того самого програмного забезпечення для обробки як одно-, так і двочастотних даних. Надзвичайно бажаним є об'єднання даних різних приймачів (також для окремої бази) та, можливо, даних супутників різних типів. Програмне забезпечення повинно бути спроможним обробляти декілька сесій або в пакетному (автоматичному), або в ручному режимі.

*Орбіта.* Важливо, щоб програма могла використовувати як передані, так і високоточні ефемериди. Корисною для дослідницьких і для багатьох практичних застосувань є можливість обчислення шести орбітальних елементів Кеплера та їх часових варіацій.

*Діалог із користувачем.* Повинна існувати можливість зміни ступеня діалогу з користувачем. Для звичайних обчислень користувач не потребує чи не хоче мати багато діалогів із програмою.

## 4.9. Застосування GPS на практиці

Існує велика кількість загальних застосувань GPS-технології на практиці у глобальному, регіональному та локальному рівнях.

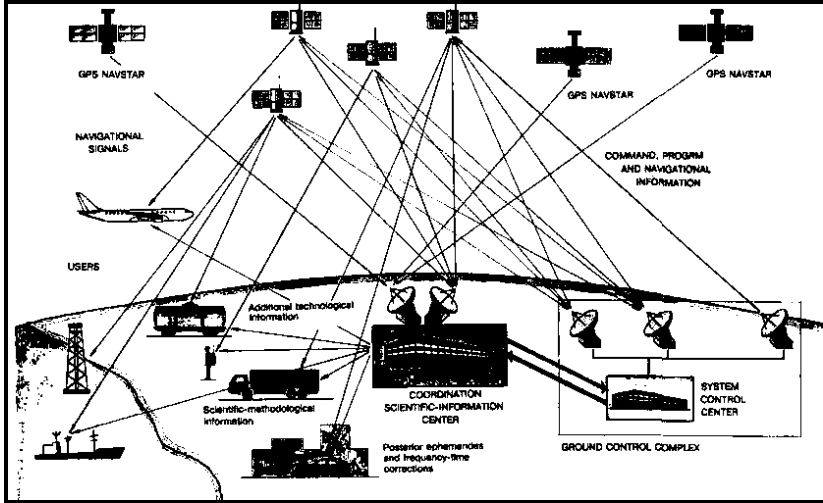


Рис.4.10. Загальна структура супутникової навігаційної системи NAVSTAR

### Глобальні застосування

*Навігація.* Це застосування GPS-технології вважається як головне. Військові і цивільні користувачі системи бажають якнайточніше знати своє просторове місцезнаходження. Наприклад, усі типи літаків та морських суден будуть застосовувати GPS-навігацію під час слідування по курсу, і зниження точності не впливає суттєво на це застосування. При глобальному 100-метровому рівні точності, досяжному навіть за умови ввімкнення SA, не виникає проблем для визначення місцезнаходження під час слідування по курсу. Але коли літак готується до приземлення або судно входить в обмежені берегом води, точність стає більш важливим фактором. Іншим фактором, вирішальним для навігації літаків, є високий рівень надійності.

**Сучасні вимоги до точності в авіації**

Фаза	Категорія	Місцеположення, м	Висота, м
Курсова		$\geq 100$	$\geq 100$
Наближення та приземлення	I	17,1	4,1
	II	5,2	1,7
	III	4,0	0,6

*Геодезична зйомка.* Глобальне застосування GPS є потужним інструментом для геодезії, яка займається проблемами моніторингу глобальних змін у часі. Ці зміни дають можливість вивчати довгочасні геодинамічні явища — деформації земної кори, відновлення форми поверхні Землі після відступу льодовика, вулканічне піднімання земної кори, тектоніку плит, обертання Землі тощо. До сьогоdnішнього дня з цією метою використовувались методи РНДБ та ЛЛС. GPS-технологія поки що не спроможна замінити ці методи, але вона буде застосовуватись для їх доповнення та забезпечення більш ефективних розв'язань геодезичних проблем.

*Синхронізація та зв'язок.* Іншим глобальним застосуванням GPS є визначення точного часу, що має багато наукових застосувань, таких як координація сейсмічного моніторингу та інших глобальних геофізичних вимірювань. При ввімкненій системі SA недорогі приймачі GPS, які працюють на станції з відомими координатами, за умови лише одного видимого супутника забезпечують визначення часу з точністю близько 0,1 мкс. За допомогою більш удосконалених методів годинники можна синхронізувати у глобальному масштабі навіть точніше.

**Регіональні застосування**

*Навігація.* Регіональні застосування для GPS-навігації є дуже широкими і включають різні види розвідки, керування транспортом, моніторинг забудови, різні типи автоматизації.

Зниження повної точності системи можна подолати шляхом диференціальної навігації (DGPS). Цей метод полягає у встановленні на майданчику проекту стаціонарних GPS-приймачів в точках з відомим місцеположенням і передачі (по радіоканалу) поправок до відстаней для інших приймачів у межах цієї місцевості. Метод DGPS також використовується для гідрографічних зйомок.

Існують численні приклади застосування GPS з метою керування регіональними ресурсами та контролю за діяльністю на великих територіях. Одним з прикладів є географічна інформаційна система (ГІС), яка є комп'ютерною базою географічних даних, що допомагає керувати ресурсами у регіональному і локальному масштабах. ГІС також дає засоби для прийняття швидких зважених рішень щодо планування, розвитку та супроводу об'єктів інфраструктури. Звичайно ГІС створюється як цифровий файл даних, який містить усю інформацію про дороги, будинки, типи рослинності та інші важливі дані, які можна показати шляхом виводу на екрані комп'ютерного дисплея різноманітних зображень. GPS часто грає ключову роль у забезпеченні наземного контролю для базового картографування. За допомогою GPS визначаються координати точок, які можна розпізнати на фотознімку, і ці точки використовуються для контролю масштабу та орієнтації карти. GPS також може бути застосована для оновлення інформації ГІС та введення у файл нової інформації. Це здійснюється шляхом розміщення приймача GPS у точці, яку бажано включити в ГІС, для визначення її положення і введення відповідних даних у машинну програму з тим, щоб ця точка була позначена певним часом та координатами. ГІС є чудовим прикладом застосування GPS у різноманітних режимах: визначення місцеположення окремої точки, високоточної геодезичної зйомки, диференціального визначення місцеположення, комбінації цих методів тощо. Режим визначення місцеположення окремої точки слід використовувати для то-

го, щоб знайти розташування геодезичних реперів (або фотомішеной, елементу бойового порядку), координати яких були отримані раніше зйомкою або по карті великого масштабу. Недорогі ручні приймачі використовуються для визначення розташування тих контрольних точок, які неможливо відшукати через те, що відбулись великі зміни навколишньої місцевості.

Режим геодезичної зйомки використовується для вимірювання точних векторів між відомими контрольними пунктами (як плановими, так і висотними) та вибраними фотомішеннями або точками, які можна розпізнати на фотознімку. Ці точки використовуються у процесі складання фотограметричних карт для масштабування та орієнтування фотознімка відносно вибраної системи відліку. Під час цієї роботи можуть використовуватися статичний, псевдокінематичний і кінематичний режими.

*Геодезична зйомка.* Для вимірювання руху земної кори для різних цілей, наприклад для прогнозу землетрусів шляхом встановлення певних передвісників цього явища, GPS є ідеальним інструментом для таких досліджень, оскільки устаткування відносно недороге, портативне, високоточне тощо.

GPS система дає змогу точно вимірювати різниці висот у реальному часі. Виконані дослідження показали, що повторювані вимірювання між стабільними та просідаючими реперами забезпечують точне визначення просідання. В індустрії GPS застосовується для вимірювання відносного просідання між групами плаваючих нафтодобувних платформ шляхом повторних геодезичних зйомок. У цьому випадку GPS, можливо, є єдиним методом визначення змін висоти.

### **Локальні застосування**

Різниця між регіональним та локальним застосуваннями GPS є досить умовною, тому що ГІС малої держави може

розглядатись або як регіональна, або як локальна система. Крім цього, із поступовим зростанням точності навігації зменшуватиметься різниця між навігацією та геодезичною зйомкою. Однак для зручності будемо дотримуватися попередньої класифікації.

*Навігація.* В авіації вимоги до точності під час наближення та приземлення досить високі (див. табл. 4.10). Для досягнення цієї точності в режимі навігації стаціонарні приймачі мають передавати поправки до відстаней на літаки, що наближаються, щоб вони могли точніше обчислити (за допомогою DGPS) місцеположення з наближенням до злітно-посадочної смуги. У майбутньому використання GPS в процесі зближення та приземлення може бути економічно вигідним для керування роботою аеропортів.

Застосування GPS у режимі визначення місцеположення окремої точки стає популярним для керування машинами швидкої допомоги. Припустимо, що кожна машина швидкої допомоги оснащена C/A-ковдовими приймачем псевдовідстаней та прийомо-передавачем (трансивером). Місцеположення машини під час пересування її до призначеного району визначається за допомогою GPS, і прийомо-передавач посилає центральному диспетчеру ці дані. Розташування кожної машини можна показати на екрані, щоб у будь-яку мить диспетчер міг бачити, де вона знаходиться. Якщо, наприклад, одна з доріг заблокована, то диспетчер може змінити маршрут або послати іншу машину. Безсумнівно, ці системи автоматичного визначення положення рухомої платформи (AVL), що базуються на GPS, можуть бути встановлені в усіх рухомих засобах ураження.

*Геодезична зйомка.* Типове локальне застосування GPS полягає в зйомці місцевих меж власності та окремих майданчиків. Деякі геодезисти використовують GPS для того, щоб їх проекти були віднесені до єдиної системи відліку. Це можна зробити економічно шляхом встановлення антени у стаці-

онарній центральній точці (наприклад, в офісі) та визначення точних координат цієї точки на основі вимірювання векторів до найближчих контрольних точок. Після того як координати стаціонарного центрального пункту визначені, один приймач залишається на цьому пункті і працює неперервно протягом всього часу, поки польові групи зайняті геодезичними зйомками. Кожна така група бере один або два додаткові приймачі і встановлює їх на точки локальної мережі, що включені до проекту. Наприклад, топографічна зйомка місцевості та визначення кордонів потребують встановлення багатьох тимчасових та стаціонарних пунктів, на яких проводилися вимірювання за допомогою традиційних методів геодезичної зйомки. Приймачі GPS, розташовані у двох віддалених один від одного пунктах, можуть реєструвати дані в той час, коли геодезична група здійснюватиме традиційні вимірювання. Це призведе до додаткової невеликої витрати людських ресурсів. У результаті традиційної геодезичної зйомки та одночасних GPS-вимірювань були б визначені координати всіх пунктів проекту, а всі азимутальні напрями у мережі були б віднесені до істинного північного напрямку.

Локальне застосування GPS полягає також у виконанні топографічних зйомок із використанням кінематичного режиму. У місцевостях з відносно малою кількістю перешкод рухомий GPS-приймач можна або нести, або везти на автомобілі (всюдиході) і перетинати місцевість серією перерізів. Планове місцеположення та висоту точок можна визначити щосекунди, тому в результаті отримаємо високу щільність точок, навіть якщо приймач закріплений на автомобілі, що пересувається з високою швидкістю. Обробку та креслення кінематичних перерізів автоматизовано (мінімізує час виконання польових робіт).



#### 4.10. Супутникова навігаційна система ГЛОНАСС

ГЛОНАСС є російським еквівалентом GPS. Ця система складається з 24 супутників (включаючи три активні запасні) у трьох площинах з нахилом у  $65^{\circ}$ . В кожній площині знаходиться 8 НШСЗ. Супутники виводяться на орбіту блоками по 3 супутники ракетою-носієм "Протон". Після виводу блока на орбіту один супутник залишається в точці виводу, а два інших за допомогою двигунів корекції розводяться на свої місця на орбіті. Варіюючи часом старту при тому ж нахилі у  $65^{\circ}$ , здійснюється формування інших площин орбіт супутників на висоті близько 20000 км.

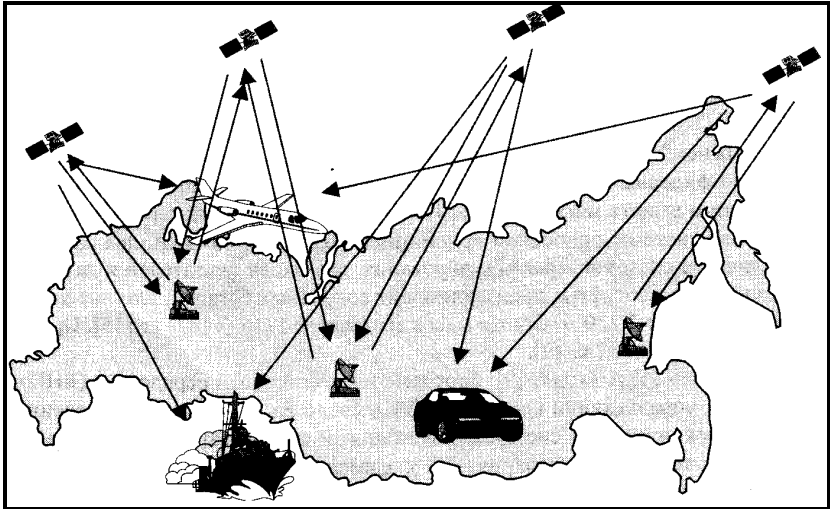


Рис. 4.11. Загальна структура супутникової навігаційної системи ГЛОНАСС

На відміну від GPS супутники мають різні несучі частоти. Індивідуальні частоти несучих хвиль  $f_{L1}^j$  та  $f_{L2}^j$  для супутника  $j$  означаються таким чином:

$$\begin{aligned} f_{L1}^j &= 1602.0000 \text{ МГц} + j * 0.5625 \text{ МГц}, \\ f_{L2}^j &= 1246.0000 \text{ МГц} + j * 0.04375 \text{ МГц}, \end{aligned} \quad (4.18)$$

де  $j = 1, \dots, 24$ , С/А- та Р-коди, що модулюють несучу хвилю, є однаковими для всіх супутників, а частоти накладання коду становлять половину відповідних значень GPS.

Відмінність від GPS існує також за структурою навігаційного повідомлення. Крім того, в ГЛОНАСС застосовуються інші системи координат і часу.

Глобальна супутникова навігаційна система ГЛОНАСС прийнята в експлуатацію у складі 12 КА у 1993 році і розгорнута до штатного складу (24 КА) у 1995 р. Але угруповання з 18 супутників вже забезпечує використання СНС протягом 80% добового часу.

На початок 2000 р. орбітальне угруповання зменшилося до 10 КА. Урядом Російської Федерації вживаються заходи для відтворення повного угруповання.

СНС ГЛОНАСС відноситься до розряду прецизійних координатометричних систем, які дають кінцевий результат навігаційного рішення з похибкою не більше одиниць метрів.

Проблема рішення задачі високоточного ефемеридного забезпечення вирішена на рівні фундаментальних задач. До них відносяться:

- створення високоточного генератора з нестабільністю на рівні  $10E-13$  секунди;
- прив'язка фазових центрів антенних систем траєкторних вимірювань з помилкою не більше 1-3 метрів;
- вимірювання відстані до НШСЗ за допомогою лазерних далекомірів з помилкою не більше 10 сантиметрів;
- врахування нерівномірності руху Землі та відхід полюсів, тиск сонячного повітря, несферичність та неоднорідність Землі;
- відсутність повної компенсації пари сил коректуючих двигунів та інше.

**Супутникова навігаційна система ГЛОНАСС**

Основні характеристики СНС ГЛОНАСС		
Параметр	Одиниця вимірювання	Величина
Точність навігаційних визначень по положенню	м	Не гірше 100
Точність визначення складової вектора швидкості споживача	м/с	Не гірше 0,15
Точність прив'язки ефемеридного часу до всесвітнього гринвіцького	мс	5
Час, який необхідний для проведення: першого навігаційного визначення	хв	1-3
наступного навігаційного визначення	с	1-10
Кількість споживачів	необмежена	
Основні характеристики НШСЗ ГЛОНАСС		
Маса	кг	близько 1300
Діаметр супутника	м	2,350
Довжина з розгорнутою штангою магнітометра	м	7,840
Ширина з розгорнутою сонячною батареєю	м	7,230
Діапазон частот сигналів передавача	МГц	1602,6 - 1615,5
Швидкість передачі інформаційних даних	біт/с	50
Ракета—носіє, яка використовується для виводу на орбіту	"Протон" з розгінним блоком "Д"	
Космодром запуску	Байконур	

З метою виявлення неврахованих сил та врахування їх як коефіцієнтів поправок під час прогнозування руху супутника в навігаційну систему введено так званий пасивний ШСЗ. Це тяжке сферичне тіло, поверхня якого покрита відбивачами лазерного сигналу. Спостереження за ним та прогноз його руху дозволяє розподілити та врахувати помилки "активних НШСЗ", що забезпечує рішення проблеми розрахунку висо-

коточних ефемерид для кожного супутника системи.

Супутникова навігаційна система ГЛОНАСС не поступається системі GPS, але має ряд особливостей. Вона не має системи навмисного погіршення досяжної точності, подібної до SA у GPS. Тому у диференціальних застосуваннях можна зменшити частоту передачі поправкових даних на рухому платформу. Усі супутники ГЛОНАСС оснащені світловідбивачами для їх лазерної локації, у той же час існує лише один такий GPS-супутник.

НШСЗ системи ГЛОНАСС мають більш високий нахил орбіти, що дозволяє здійснювати високоточні навігаційні визначення у більш високих широтах, а також у них відсутній режим загрублення навігаційної інформації, якою користується цивільний споживач. При цьому точність визначення у 1,5-2 рази вища, порівнюючи з системою GPS.

З 1995 року розробляються пропозиції по створенню диференціальної мережі ГЛОНАСС на базі інфраструктури Військових космічних сил Росії, яка повинна стати основою тривірневої диференціальної підсистеми (відомча та локальна диференціальна мережа).

Близькість СНС ГЛОНАСС та GPS як по балістичному утворенню орбітального угруповання супутників, так і по навігаційних радіосигналах дозволяє створити навігаційну апаратуру споживача, яка в змозі працювати в обох системах (табл. 4.12).

Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО) ухвалила концепцію перспективної системи організації повітряного руху, яка базується на супутникових системах зв'язку, навігації та спостереження. Було прийнято рішення, що СНС ГЛОНАСС та GPS стануть елементом Глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS), а також розроблені пропозиції щодо поєднання використання цих систем з метою підвищення точності, надійності та єдності навігаційного обслуговування.

Таблиця 4.12

**Порівняння характеристик систем ГЛОНАСС та GPS**

Характеристика	Травень 1999 р.		Грудень 1999 р.	
	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС	GPS
Кількість активних КА в орбітальному угрупованні	15	27	10	27
Доступність, %	88,96	99,995	47,52	100,00
Вірогідність, %	81,78	99,50	37,10	99,40
СКО визначення планових координат, м	16,83	28,91	18,60	28,91
СКО визначення висоти, м	23,18	44,30	24,20	44,30
Середня СКО вимірів на стандартному кодї, м	7,65	23,32	9,40	21,50
Середня еквівалентна помилка ефемерид і частотно-тимчасових параметрів, м	-0,46	-0,41	-0,03	-0,31
Середній модуль помилки ефемерид і частотно-тимчасових параметрів, м	4,23	3,36	5,03	2,87

*При аналізі приведених даних варто враховувати, що орбітальне угруповання ГЛОНАСС розгорнуте на 60%. При повному розгортанні*

*ГЛОНАСС по доступності і вірогідності не уступає GPS.*

Виробляються приймачі, які є спроможними обробляти сигнали обох (GPS і ГЛОНАСС) систем. Ці багатоканальні приймачі можуть спостерігати супутники GPS та ГЛОНАСС у будь-якій комбінації. Застосування таких приймачів для навігації після того, як GPS стане повністю розгорнутою, є дискусійним. Сукупне використання GPS та ГЛОНАСС є основою для майбутньої Глобальної навігаційної супутникової системи. Остання має деякі важливі переваги, а саме: краща геометрія, доступність, цілісність, надійність тощо.

#### **4.11. Супутникові навігаційні системи та топогеодезичне забезпечення Збройних Силах України**

Аналіз досвіду застосування збройних сил свідчить, що розвиток військової справи суттєво змінив форму й зміст усіх видів забезпечення військ, у тому числі і топогеодезичного. Його значення зросло настільки, що топогеодезичне забезпечення стало одним з основних видів бойового забезпечення військ. З'явилася ціла низка нових засобів збройної боротьби (високоточна зброя, різні фізичні, радіотехнічні засоби виявлення цілі, визначення координат і наведення на ціль засобів ураження, автоматизовані системи керування військами та зброєю), на основі впровадження інформаційних технологій, яким потрібні топогеодезичні дані. Ефективне використання нових артилерійських, ракетно-космічних, радіотехнічних систем, безпілотних авіаційних засобів та іншої сучасної техніки у ряді випадків без топогеодезичного забезпечення неможливе.

Враховуючи сучасні потреби видів Збройних Сил, головні завдання топогеодезичного забезпечення військ полягають у своєчасному створенні й доведенні до військ топографічних карт різних масштабів, створенні геодезичної основи й забезпеченні військ геодезичними даними.

Під час топогеодезичного забезпечення військ для визначення геодезичних даних (координат об'єктів, азимутів напрямків, значень прискорення сили тяжіння) використовуються засоби класичної геодезії та фотограмметрії.

Традиційні геодезичні методи (полігонометрія, триангуляція, трилатерація та їх комбінації) використовуються за допомогою лінійних, кутових та азимутальних вимірювань

Геодезичні методи дозволяють отримати:

- координати та висоти пунктів державної геодезичної мережі (ДГМ), спеціальних геодезичних мереж (СГМ), а та-

кож контурних точок і різних об'єктів (орієнтирів) на місцевості;

- дирекційні кути сторін ДГМ, СГМ і напрямків на орієнтовані пункти, а також азимути еталонних орієнтованих напрямків;

- значення прискорення сили тяжіння, відхилень вискових ліній, висот квазігеоїда над загальним земним еліпсоїдом, і референц-еліпсоїдом, а також поправок в астрономічні азимути для переходу до геодезичних азимутів.

Ці дані в основному визначаються класичними методами (геодезичними приладами та інструментами), з високою точністю та високим рівнем надійності, підрозділами топографічної служби ЗС України як у мирний (завчасно), так і у воєнний (при підготовці та в ході бойових дій) час.

Переваги класичних методів полягають у високій точності та надійності вихідних геодезичних даних, що визначаються, їх вірогідності та можливості виконувати нестандартні види робіт (прив'язка аеродромів, підземних об'єктів тощо)

Проте існує ряд обмежень щодо застосування класичних засобів геодезії при забезпеченні Сухопутних військ вихідними геодезичними даними. Основними з них є вимоги взаємної видимості між точками. Часовий фактор виконання поставлених завдань залежить від щільності вихідної геодезичної основи, погодних умов та участі великої кількості виконавців.

У сучасних умовах, коли бойові дії відрізнятимуться високою швидкістю та маневреністю, для забезпечення гнучкого та безперервного управління процесами пересування, зосередження, маневру сил та засобів необхідна точна інформація про місцезнаходження об'єктів (точок місцевості) і транспортних засобів.

Вирішення даного завдання на сучасному етапі полягає в широкому впровадженні на наземних об'єктах автоматизованих систем визначення вихідних геодезичних даних (засобів

навігації та топоприв'язки).

Великий розвиток і застосування у колишньому СРСР, а тепер й у Збройних Силах України, отримала система навігації одометричного типу, що дозволяє визначати місцезнаходження наземних рухомих об'єктів. У даній системі навігації швидкість руху на кожній прямолінійній ділянці шляху вимірюється за кількістю обертів коліс транспортного засобу, а курсовий кут визначається за допомогою гірокомпаса. Із засобів орієнтування на місцевості найбільш широко розповсюджені гіронапівкомпаси, навігаційна апаратура з координатором або курсопрокладником.

З виведенням на навколоземну орбіту спеціалізованих навігаційних супутників різного призначення, розвиток технічних засобів топографо-геодезичного виробництва та навігаційних систем рухомих керованих і некерованих об'єктів (кораблів, літаків, автомашин, ракет тощо) зазнав значних змін.

Успішна експлуатація в США першої супутникової навігаційно-геодезичної системи TRANSIT, яка забезпечила надійну навігацію ракетних підводних човнів, стала стимулом до створення ще більш досконалої космічної навігаційної системи.

Основними перевагами систем супутникової навігації є:

- всепогодність та універсальність;
- простота при експлуатації;
- надзвичайно висока точність вимірювань, (моментальна до одиниць метрів в абсолютних координатах, до сантиметрів у координатах відносного положення об'єктів).

Причому точність визначень підвищується зі збільшенням тривалості спостережень на даному об'єкті. Швидкість визначення координат об'єктів моментальна, або безперервна в реальному масштабі часу для рухомих об'єктів, забезпечення даними практично безмежної кількості користувачів.

У наш час щодо автоматизації процесу топогеодезичного



та навігаційного забезпечення Збройних Сил України проводиться низка дослідно-конструкторських робіт з виконанням супутниково-навігаційних технологій.

У даний час працюють супутникові системи зв'язку, метеорологічні, дистанційного зондування тощо.

Приймальні пристрої, які складають підсистему апаратури користувачів КНС, досягли високої досконалості. Практичне розповсюдження отримали приймачі GPS. Їх випуском займаються понад 50 фірм (фірми із США (Ashtech, Garmin, Magellan, Trimble), Франції (Servel), Швейцарії (Leica), Швеції (Geotronics) та ін.). У даний час працюють приймальні пристрої, які одночасно використовують супутники GPS і ГЛОНАСС.

GPS і ГЛОНАСС працюють у гринвіцькій просторовій прямокутній геоцентричній системі координат. Початок координат розташований у центрі мас Землі. Вісь  $Z$  спрямована на умовний земний полюс, який відповідає середньому за 1900-1905 рр. положенню, прийнятому за Міжнародний умовний початок. Вісь  $X$  лежить на перерізі екватора й площини гринвіцького меридіану, вісь  $Y$  в площині екватора доповнює систему координат до правої. Геоцентричні координатні системи встановлюються за високоточними вимірюваннями й закріплюються за допомогою пунктів геодезичних мереж. Геоцентричні координатні системи GPS і ГЛОНАСС установлені незалежно. GPS діє в координатній системі WGS-84, орієнтованій, насамперед, на потреби Північної Америки. У Росії без інтеграції з західними країнами створена координатна система ПЗ-90 (Параметри Землі 1990р.). Природно, ці дві системи не збігаються, зміщення координат менше 3 м, а кути між координатними полюсами 0,1. При цих даних положення точки в просторі в зазначених системах можуть відрізнятись до десятка метрів. Крім того, координатні системи базуються хоча й на близьких, але все-таки на різних еліпсоїдах. Тому геодезичні широти, довготи й висоти різнитимуть-

ся, навіть якщо збігаються прямокутні геоцентричні координати  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Приймач GG24 Ashtech може працювати як у WGS-84, так і в ПЗ-90.

В окремих країнах діють національні координаційні системи. Центри референц-еліпсоїдів часто не сумісні з центром мас Землі. Вони встановлюють квазігеоцентричні координати. В Україні поки що діє система координат 1942 р. (СК-42) на референц-еліпсоїді Красовського, центр якого зміщений від центра мас Землі на більше ніж 150 м. Різниці геоцентричних і квазігеоцентричних координат можуть досягати й понад 100м. З 1995 року в Росії використовується нова геоцентрична система координат СК-95.

У 1998 р. перший комплект GPS апаратури надійшов на озброєння Топографічної служби Збройних Сил України. У комплект увійшли два GPS-приймачі 4000SSI, дві приймальні антени й два TSC-контроллери. Приймачі цього типу працюють у двогодинному режимі і є 18-канальними. Їх особливістю є наявність у них режиму (on the fly), що дозволяє при роботі в кінематичному режимі вимірювань виконувати вимірювання без ініціалізування рухомої антени.

Навчання й практичні заняття навчальної групи по користуванню GPS апаратури здійснювались в чотири етапи.

На першому етапі (ознайомлювальному) були дані загальні поняття з GPS і сфера застосування GPS-вимірювань.

На другому етапі були виконані польові вимірювання GPS-приймачами в статичному й кінематичному режимах.

Третій етап навчання полягав в освоєнні програмного продукту GPSurvey 2.30 для розрахунку результатів польових вимірювань.

Четвертий етап полягав у практичному застосуванні GPS апаратури в полі.

У 1998 р. силами підрозділів Воєнно-топографічного Управління ГШ ЗСУ були виконані роботи з визначення координат прикордонних знаків (копців) на контрольних ділян-

ках українсько-польського державного кордону.

Роботи виконувались двома двочастотними 18-канальними приймачами 4000 SSI фірми TRIMBLE NAVIGATION.

Віддаленість вихідних пунктів від лінії кордону становила 4-5 км. Вимірювання кожної групи прикордонних знаків відбувалося від одного вихідного пункту, послідовним переміщенням GPS-приймача за визначуваними точками. Такий метод називається радіальним геодезичним зніманням. Він був застосований тому, що у комплекті були наявними лише два GPS-приймачі. Після виконання вимірів на одній ділянці розпочинався переїзд GPS-розрахунку на наступну ділянку. Після прибуття на нову ділянку робіт виконувалось рекогноскування району і складався проект їх виконання. Рекогноскування робилось з метою відшукування на місцевості вихідного й визначуваних пунктів. У зв'язку з відсутністю в районі виконання робіт доріг з твердим покриттям складався оптимальний маршрут руху автомобіля. Проект виконання робіт складався з метою визначення оптимального часу роботи GPS-приймачів, для цього обчислювався альманах руху супутників і час переміщення приймача від одного визначуваного прикордонного знака до іншого.

Після завершення вимірювань у полі інформація з приймачів перекачувалась в ПЕОМ. Потім виконували розрахунок векторів і зрівнювання координат. Результат обчислення показав, що точність визначення координат становила:

невелика помилка визначення координат

$X = 5,4 \text{ см}; Y = 5,0 \text{ см};$

найменша помилка визначення координат

$X = 0,09 \text{ см}; Y = 0,07 \text{ см}.$

Час, затрачений на визначення координат 27 прикордонних знаків, дорівнював 11 т/днів, що в 6-8 разів менше, ніж визначення тієї ж кількості їх методом полігонометрії.

У військах впроваджуються елементи космічної навіга-

ційної системи для вирішення задач навігації наземних об'єктів. Перспективним напрямком є впровадження приймачів типу СН-3003. Навігаційний приймач СН-3003 працює у космічній навігаційній системі ГЛОНАСС або GPS NAVSTAR у будь-який час, незалежно від метеоумов і видає дані на пристрій індикації споживачам навігаційної інформації (рис. 4.12).

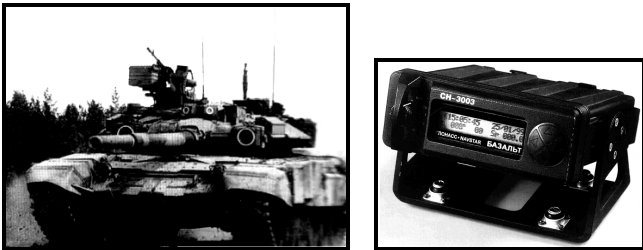


Рис. 4.12. Навігаційний приймач СН-3003 для жорстких умов експлуатації

Приймач СН-3003 забезпечує:

- автоматичний вибір оптимального сузір'я навігаційних космічних апаратів;
- інтегральну оцінку очікуваної точності визначення поточних координат об'єкта;
- видачу на зовнішні пристрої обумовлених параметрів;
- введення та обробку коригувальної інформації відповідно до RTCM SC-104, рішення навігаційної задачі при роботі в диференціальному режимі;
- введення і збереження до 500 маршрутних точок і до 50 маршрутів руху;
- запам'ятовування поточних координат як маршрутної точки;
- розрахунок відстані і напрямку між двома точками руху по маршруту;
- вивід координат у системі координат WGS-84 (Всесвітня геодезична референсна система - World Geodetic System,

1984), ПЗ-90 (Параметри Землі 1990р., Росія), СК-42 (система координат 1942 року) або в системі координат, параметри якої задаються користувачем, індикацію їх на дисплеї в географічній проекції і проекції Гаусса-Крюгера;

автоматичний контроль функціонування апаратури;

точність визначення координат (висоти) в автономному режимі роботи (СКО): GNSS - 10-20 (15-35) м, ГЛОНАСС - 10-30 (15-50) м, GPS - 25-40 (70) м;

точність визначення координат (висоти) в диференціальному режимі (СКО) до 5 м (до 7 м);

похибка визначення вектора швидкості: GNSS - 0,1 м/с, ГЛОНАСС - 0,1 м/с, GPS - 0,5 м/с.

Таким чином, GPS-апаратуру можливо застосувати при топогеодезичному забезпеченні військ. GPS-апаратура може бути використана для прокладення полігонометричних ходів, для розвитку мереж СГС на військових навчальних полігонах, аеродромах, для прив'язування стартових позицій ракетних військ і артилерії в стислі строки.

Однак практичне використання КНС GPS у військовій справі пов'язане з певними труднощами. Основними факторами, які обмежують її застосування, є такі:

- технологія спостереження за НШСЗ під час поширення геодезичної мережі є поки що достатньо складною, що пов'язано з проведенням громіздких розрахунків коефіцієнтів геометричної якості розташування ШСЗ відносно місця спостереження;

- під час поширення мереж диференціальним методом виникає проблема вибору вихідних пунктів, координати яких повинні відповідати по точності вимогам, які відносяться до геодезичної основи самих вищих класів (інакше втрачаються всі переваги GPS, пов'язані з її високим точнісним потенціалом);

- під час використання GPS слід постійно мати на увазі, що у процесі спостереження за супутником можуть вини-

кнуті фактори, які негативно впливають на точність і тривалість спостережень (реальна можливість одержання від ШСЗ нештатних сигналів, що пов'язано з можливістю втручання у роботу супутникової апаратури технологічних служб збройних сил США);

- обмеження, яке пов'язане з доступом споживача до точного P-коду і точних ефемерид навігаційних супутників. Цей доступ обмежено як з воєнно-політичних, так і з економічних міркувань (одне з необхідних умов користування P-кодом є заключення контракту споживача з міністерством оборони США, який включає почасову оплату за користування системою та проведення міністерством оборони догляду місць, де встановлена апаратура споживача);

- GPS-технологія є дорогою технологією.

Обмеження доступу до P-коду і точних ефемерид НШСЗ GPS дало поштовх до створення засобів альтернативного використання GPS. Звідси виник метод фазометрії несучої частоти ШСЗ, під час використання якого не потрібно знання кодів модуляції, а також відповідна "безкодова" апаратура споживача.

Закритість P-коду в значній мірі стала причиною розробки диференціального GPS-методу, яким визначаються відносні координати пунктів, тобто різниця координат пункту, що визначається відносно координат вихідного пункту, координати якого були визначені раніше у будь-якій системі відносин. Застосування цього методу дозволило досягти точності компонентів геодезичних баз близько  $10E-8$  км. Розробка спеціальних автоматичних станцій диференціального методу та використання ліній зв'язку частково компенсували відсутність зв'язкової функції GPS.

Обмеження доступу до точних ефемерид змусило геодезистів ряду держав світу потурбуватися про створення локальних мереж спостереження за НШСЗ GPS, що поклато початок виробництву власних ефемеридних даних.

#### **4.12. Напрямки розвитку навігаційних систем**

Результати аналізу ступеня задоволення вимог різних груп споживачів існуючими засобами навігаційного забезпечення визначають напрямки рішення основних проблем:

- підвищення точності визначення місця об'єкта;
- підвищення доступності радіонавігаційних систем;
- підвищення цілісності радіонавігаційних систем;
- підвищення безперервності обслуговування (функціонування);
- поліпшення інформаційного забезпечення споживачів.

Ці проблеми можуть бути вирішені завдяки:

застосуванню навігаційних супутникових систем ГЛОНАСС разом із системою GPS;

застосуванню диференціальних підсистем (режимів) і засобів контролю цілісності;

розвитку існуючих інформаційно-аналітичних центрів КВО і створенню регіональних інформаційних центрів у рамках національних і міждержавних програм.

Підвищення точності навігаційних визначень при використанні супутникових і наземних радіонавігаційних систем може бути досягнуто застосуванням режиму диференціальних виправлень, визначених у точках, координати яких відомі з високою точністю.

При роботі диференціальної підсистеми на контрольно-коригувальній станції (ККС) визначаються виправлення, обумовлені ефемеридними похибками, відходом шкал часу супутників і впливом середовища поширення навігаційних сигналів.

Обчислені на контрольно-коригувальній станції систематичні похибки (виправлення) передаються у виді коригувальної інформації по каналах зв'язку споживача.

Одним з варіантів диференціальної підсистеми може бути побудова контрольно-коригувальної станції у виді псевдосупутника, що передає споживачам диференціальні виправ-

лення одночасно з випромінюванням навігаційного сигналу, аналогічного випромінюваному із супутника навігаційної системи.

Реалізація диференціального режиму систем ГЛОНАСС і GPS забезпечить точність абсолютного місцевизначення 2-5 м і відносного - у межах 1 м. Більш висока точність визначення відносного місцезнаходження, близько декількох сантиметрів ( $\pm 10^{-6}$  довжини базової лінії), буде забезпечуватися при геодезичних вимірах з використанням фази несучого і спеціальних методів обробки результатів вимірювань.

Диференціальні підсистеми (ДПС) СНС підрозділяються на широкозональні, регіональні і локальні. Основою широкозональної диференційної супутникової підсистеми (ШДСП) є мережа широкополосних контрольних станцій, інформація яких передається на широкозональні головні станції для спільної обробки сигналів. Радіус робочої зони ШДСП порядку 5000-6000 км. Вироблені на головній ШДСП сигнали цілісності і коригувальних виправлень передаються через наземні станції передачі даних на геостаціонарні КА для наступної ретрансляції споживачам. Ці ж геостаціонарні КА використовуються також як додаткові навігаційні точки для далекомірних вимірів.

Регіональні ДПС призначені для навігаційного забезпечення окремих регіонів континенту або водного простору. Робоча зона може складати від 500 до 2000 км. Вони можуть мати у своєму складі одну або декілька ККС, а також відповідні засоби для передачі коригувальної інформації і сигналів цілісності.

Локальні ДПС мають максимальні дальності дії від ККС до 50-150 км. ЛДПС включає одну ККС, апаратуру керування і контролю, а також засіб передачі даних і повинні задовольняти вимогам посадки по категоріях міжнародної організації цивільної авіації.

В даний час широко використовуються наземні радіона-



вігаційні системами. Їх подальше застосування не дозволяє задовольнити зростаючі вимоги до навігаційного забезпечення основних груп споживачів по точності, доступності і цілісності.

З упровадженням середньорбітальних навігаційних супутникових систем з'явилася можливість задоволення вимог більшості споживачів по точності навігаційного забезпечення. Однак і в цьому випадку можуть бути не задоволені вимоги споживачів по доступності і цілісності.

Для поліпшення таких характеристик навігаційного забезпечення радіонавігаційних систем (РНС), як доступність і цілісність, доцільно упровадження на найближчий період спільне використання діючих наземних і супутникових РНС.

Одночасне функціонування декількох супутникових і наземних РНС створює реальну можливість їх спільного або інтегрованого використання з метою досягнення більш високих характеристик по точності, доступності і цілісності.

Під інтегруванням супутникових радіонавігаційних систем розуміється спільне радіонавігаційне поле, створене цими СНС, при самостійному керуванні кожною системою.

Мета інтегрування супутникових навігаційних систем - створення універсальної РНС, що виконує функції основної радіонавігаційної системи для повітряних, морських, річкових, наземних і космічних споживачів.

Одним з найбільш перспективних напрямків інтегрування навігаційних систем є інтегрування СНС ГЛОНАСС, СНС GPS (США) і ГАЛІЛЕО по мірі її створення.

Для спільного використання навігаційних параметрів (псевдовідстаней і псевдошвидкостей) необхідне усунення наявних розбіжностей у використовуваних системах координат і шкалах часу систем ГЛОНАСС і GPS.

Ефемероїдна інформація, що надходить від супутників кожної із систем, розраховується у своїй системі координат: ПЗ-90 для ГЛОНАСС і WGS-84 для GPS.

Реалізація принципу інтегрування космічних радіонавігаційних систем ГЛОНАСС і GPS визначається насамперед тим, наскільки швидко будуть вирішені питання, зв'язані з інтегруванням радіонавігаційних полів, а також зі стандартизацією і розробкою інтегрованої прийоминдикаторної апаратури споживачів.

Інтегрування космічних систем ГЛОНАСС і GPS дозволить створити основну глобальну радіонавігаційну систему, що задовольнятиме існуючим і перспективним вимогам повітряних, морських, наземних і космічних споживачів.

Планується створення Європейської глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС). Європейська глобальна супутникова система створюється під керівництвом Європейської тристоронньої групи: Європейської організації по безпеці повітряної навігації (Євроконтроль), Європейського космічного агентства і Комісії європейського Союзу.

На першому етапі (до 2005 р.) під реалізацією ГНСС-1 розуміється роздільне або спільне використання існуючих систем ГЛОНАСС і GPS, сигнали яких будуть доповнюватися сигналами Європейської Геостаціонарної Служби (ЕГНОС), яка буде доповнювати системи ГЛОНАСС і GPS передачею GPS - подібних сигналів через геостаціонарні супутники. Крім цього буде передбачена передача через них диференціальних виправлень і даних про цілісність систем ГЛОНАСС і GPS.

Таким чином, користувачі ГНСС-1 будуть приймати сигнали GPS, ГЛОНАСС і ЕГНОС, що дозволить здійснювати навігаційні визначення з підвищеною точністю і надійністю. Для розв'язування задач контролю цілісності необхідна якомога ширша мережа станцій моніторингу, тому перспективним є напрямок розширення наземної інфраструктури ЕГНОС на території держав.

У процесі подальшого розвитку прийоминдикаторної апаратури для повітряних, морських, річкових, наземних і

космічних споживачів найбільш перспективним напрямком є створення інтегрованого уніфікованого ряду апаратури.

Розробка інтегрованої апаратури споживачів є однією з умов, що забезпечують створення єдиного радіонавігаційного поля. Оптимальна побудова інтегрованої апаратури споживачів припускає спільне використання результатів вимірів навігаційних параметрів по різних РНС при розв'язанні навігаційної задачі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Багмет А.П. Напрямки використання космічних навігаційних систем для охорони навколишнього середовища// Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції “Людина і космос-99”. -Житомир, 1999.

Багмет А.П., Охріменко О.М. Космічні навігаційні системи та моніторинг навколишнього середовища// Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні технології в аерокосмічному комплексі”. - Житомир: ЖІТІ, 2001.

Бойовий статут Сухопутних військ. Частина II. Рота, батальйон. – К.: Варта, 1995.

Бойовий статут Сухопутних військ. Частина III. Взвод, відділення, танк. – К.: Варта, 1995.

Військова топографія. – К. 1998.

Вошинський В.С. Передовий досвід у виконанні завдань топогеодезичного забезпечення, у тому числі демаркації державного кордону// Інформаційно-технічний збірник №2 (6). К.: ВТУ ГШ ЗСУ; Редакційно-видавничий відділ, 1999.

Гофманн-Велленгоф Б. Ліхтенеггер Г. Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика/ Пер. з англ. за ред. акад. НАН України Я. С. Яцківа. К.: Наукова думка, 1996.

Кокозій Є.М. Використання GPS-апаратури при топогеодезичному забезпеченні військ// Інформаційно-технічний збірник №1 (12). К.: ВТУ ГШ ЗСУ; Редакційно-видавничий відділ, 2001.

Навигационная аппаратура «ГНА-3». Инструкция по эксплуатации, 1985.

Псарев А.А., Коваленко А.Н., Куприн А.М., Пирнак Б.И. Военная топография. М.; Воениздат, 1986.

Салко С.П. Предназначения, структура, общие принципы работы системы NAVSTAR GPS// Інформаційно-технічний збірник №2 (10). К.: ВТУ ГШ ЗСУ; Редакційно-видавничий відділ, 1999.

Серапинас Б.Б. Спутниковое позиционирование// Информационный бюллетень ГИС. - 1998. - № 1 (13).

Смаль С.В. Використання апаратури споживачів супутникових навігаційних систем при топогеодезичному забезпеченні військ// Інформаційно-технічний збірник №1 (12). К.: ВТУ ГШ ЗСУ; Редакційно-видавничий відділ, 2001.

Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации// - М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000.

Танковая навигационная аппаратура. - М.: Воеиздат, 1988.

Халавка І.С. Використання GPS-приймачів при виконанні геодезичних робіт у ході демаркації кордону// Інформаційно-технічний збірник №2 (10). К.: ВТУ ГШ ЗСУ; Редакційно-видавничий відділ, 1999.

## З М І С Т

Вступ			3
Глава	1.	ОРІЄНТУВАННЯ НА МІСЦЕВОСТІ ПО КАРТІ	4
	1.1.	Карта – основний засіб орієнтування на місцевості	4
	1.2.	Орієнтування карти на місцевості	5
	1.3.	Звірення карти з місцевістю	8
	1.4.	Визначення по карті точки стояння	10
	1.5.	Топографічне орієнтування на місцевості	16
	1.6.	Підготовка по карті даних для руху за азимутами	18
	1.7.	Орієнтування на місцевості по карті в русі	24
	1.8.	Особливості орієнтування в різних умовах і відновлення загубленого орієнтування	28
Глава	2.	ОСНОВИ РОБОТИ АВТОНОМНИХ НАВІГАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ ОДОМЕТРИЧНОГО ТИПУ	35
	2.1.	Класифікація навігаційних систем	35
	2.2.	Принцип роботи навігаційної апаратури Сухопутних військ	39
	2.3.	Основи побудови навігаційної апаратури	47
Глава	3.	РУХ НА МІСЦЕВОСТІ	66
	3.1.	Витримування напрямку руху на місцевості за компасом (рух за азимутами)	66
	3.2.	Витримування напрямку руху на місцевості за допомогою гіронапівкомпаса	70
	3.3.	Орієнтування на місцевості за допомогою координатора	78
	3.4.	Орієнтування на місцевості за допомогою курсопрокладника	94
Глава	4.	СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ	102
	4.1.	Основи концепції побудови Глобальної системи визначення місцеположення	102
	4.2.	Основи функціонування сегментів космічної навігаційної системи	108
	4.3.	Система відліку	120

4.4.	Орбіти супутників	126
4.5.	Сигнали із супутника	132
4.6.	Конструкція приймача	136
4.7.	Методи спостережень	138
4.8.	Модулі програмного забезпечення	146
4.9.	Застосування GPS на практиці	154
4.10.	Супутникова навігаційна система ГЛОНАСС	160
4.11.	Супутникові навігаційні системи та топогеодезичне забезпечення Збройних Сил України	165
4.12.	Напрямки розвитку навігаційних систем	174
	Список літератури	179





**Багмет Анатолій Петрович**  
**Охріменко Олег Миколайович**

**ВІЙСЬКОВА ТОПОГРАФІЯ**  
**Орієнтування та рух на місцевості**  
**Навчальний посібник**  
**Редактор Л. А. Климчук**

Підписано до друку 22.01.03. Формат 60х84/16.  
Ум.друк.арк. 10,93. Обл.-вид.арк. 9,02. Зам. 59 ДСК офс.

Друкарня ЖВІРЕ