

ЛЕКЦІЯ №56 Електронні тахеометри.

План

1. Історія розвитку геодезичних систем.
2. Будова електронних тахеометрів.
3. Провідні виробники електронних тахеометрів.
4. Перевірки теодолітів.

1. Історія розвитку геодезичних систем.

Із розвитком науково-технічного прогресу розвивалися й удосконалювалися методики й прилади для проведення інженерно-геодезичних робіт. Якщо до 60-х років ХХ ст. розвиток геодезичного приладобудування здійснювався завдяки вдосконалюванню традиційної технології, за основу якої було взято фізичні принципи, розроблені, в основному, ще наприкінці ХІХ ст., то за останні 30 років розвиток мікроелектроніки поклав початок новій епосі засобів і методів геодезичних робіт. Сучасний тахеометр — це продукт високих технологій, що поєднує останні досягнення електроніки, точної механіки, оптики, матеріалознавства й інших наук. А використання супутникової навігації систем GPS (у тому числі й у геодезії) можна вважати новим надбанням цивілізації, переваги якої повною мірою ще не оцінені.

Розглянемо тенденції розвитку таких геодезичних систем, які можна віднести до класу електронних тахеометрів (англійською мовою називають *total station*). Слід зазначити, що провідні виробники супутникових систем, наприклад, «Trimble» або «Magellan/Ashtech», розглядають електронні тахеометри як геодезичні системи вторинного значення, свідомо віддаючи

перевагу супутниковим системам реального часу (RTK) як першорядним геодезичним системам. Так, перший електронний тахеометр TTS 500 фірми «Trimble», що з'явився в січні 1999 р., був орієнтований насамперед на користувачів супутникових геодезичних систем «Trimble» і за задумом творців призначений винятково для доповнення можливостей супутникових систем RTK.

2. Будова електронних тахеометрів.

Електронні теодоліти, які, по суті, є тахеометрами, оскільки мають не тільки горизонтальні, але й вертикальні круги та оптичні віддалеміри, складаються здебільшого з тих самих вузлів та деталей, що й оптично-механічні теодоліти. Основна відмінність оптичних теодолітів, як вже зазначалось, тільки в тому, що в них вмонтовані не металеві, а скляні круги. Перехід до скляних кругів дав змогу створити нові відлікові пристрої, а саме розглянуті вище штрихові та шкалові мікроскопи, оптичні односторонні та двосторонні мікрометри. На рис П.3.9 показаний оптичний теодоліт серії ЗТ Уральського оптично-механічного заводу (Росія). У серію входять ЗТ2КП(К -компенсатор, П - пряме зображення труби), ЗТ2КА (з автоколіматором), ЗТ5КП. Точність вимірювання горизонтальних кутів одним прийомом -відповідно 2" та 5", ціна

поділки шкали відлікового пристрою 1", похибка відліку 0,1". Збільшення труби 30^x.

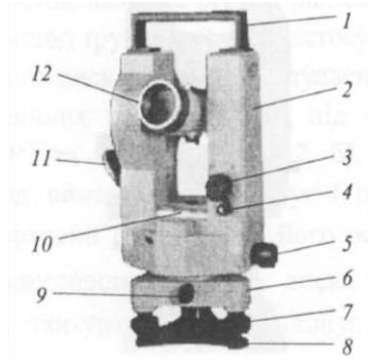


Рис. 11.3.9. Теодоліт серії ЗТ

Назва частин ЗТ

1. Ручка для перенесення.
2. Підставки труби.
3. Навідний гвинт труби.
4. Закріпний гвинт труби.
5. Навідний гвинт алідади.
6. Підставка теодоліта.
7. Гвинти горизонтування приладу (підймальні гвинти).
8. Трегер - носій приладу.
9. Закріпний гвинт лімба.
10. Циліндричний рівень.
11. Дзеркало підсвічування.
12. Лінза об'єктива труби.

Головними частинами оптичних теодолітів є лімб та алідада, вертикальні осі обертання лімба та алідади, підставки труби (горизонтальна вісь обертання труби, на яку встановлюють вертикальний круг, зорова труба, рівні сферичні та циліндричні, компенсатор нахилу, закріпний гвинт лімба на підставці).

Подальше вдосконалення відлікових пристроїв, їхня автоматизація завдяки заміні градусних поділок кругів на кодові позначки перетворили оптичні теодоліти на електронні (цифрові, які відображають відліки на електронному дисплеї). Як вже відзначалося, приймаючи термінологію, запроваджену фірмами-лідерами виробництва геодезичного обладнання, будемо також називати такі прилади електронними тахеометрами, а не теодолітами, тільки тоді, коли у них вмонтовані електронні світловіддалеміри.

Використовують два способи поєднання електронних теодолітів з електронними світловіддалемірами. Перший з них полягає в поєднанні віддалемірної і кутомірної частин в одну систему вимірювань, що має спільну будову і багато спільних елементів (спільна зорова труба, мікропроцесор, фазометр, клавіатура, реєстратор, до складу якого входить також зовнішній комп'ютер). Такі системи називають **інтегрованими тахеометрами**.

Другий спосіб полягає у поєднанні окремо сконструйованих світловіддалеміра та теодоліта (оптичного або електронного). У такому поєднанні теодоліт є одним елементом (модулем), а світловіддалемір - другим. Тоді це **модульний тахеометр**.

Ці два модулі поєднуються із зовнішнім реєстратором або комп'ютером. В обох цих модулях спільним є відбивач, візирні марки та інші дрібні деталі. Модулі можуть працювати незалежно як теодоліт та світловіддалемір.

У нових інтегрованих тахеометрах застосовуються тільки фазові світло-віддалеміри, а для кутових вимірювань - один з методів електронного вимірювання кута: кодовий, імпульсний або (найчастіше) - динамічний. Саме у інтегровані тахеометри вмонтовано потужні внутрішні комп'ютери, які здатні відображати на дисплеї не тільки кути та довжини, але й просторові координати пунктів і розв'язувати цілу низку інженерно-геодезичних задач. Їх називають тотальними станціями. На рис. П.3.10 зображено компактну тотальну станцію SET-GE фірми Sokkia.

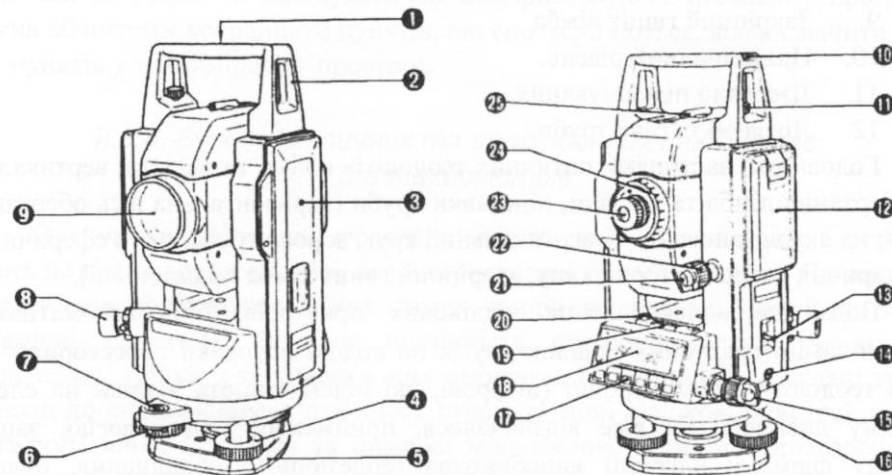


Рис. П. 3.10. Тотальна станція SET-GE фірми Sokkia
Назва частин SET-GE

1. Позначка середини приладу.
2. Ручка для перенесення.
3. Позначка висоти приладу.
4. Гвинт горизонтування приладу (підймальний).
5. Підставка (трегер).
6. Гвинт регулювання сферичного рівня.
7. Сферичний рівень.
8. Окуляр оптичного виска.
9. Лінза об'єктива.
10. Гніздо орієнтир-бусолі.
11. Гвинт кріплення ручки для перенесення.
12. Батарея BDC 25.
13. Увімкнення напруги.
14. Гніздо відбирання даних.
15. Закріпний гвинт алідади.
16. Навідний (мікрометричний) гвинт алідади.
17. Клавіатура.
18. Дисплей.
19. Циліндричний рівень алідади.
20. Гвинт регулювання (виправний) циліндричного рівня.
21. Закріпний гвинт труби.
22. Навідний (мікрометричний) гвинт труби.
23. Окуляр труби.
24. Кільце фокусування труби по предмету.

25. Оптичний візир.

На рис. П.3.11 показана клавіатура у збільшеному вигляді. Тахеометр SET-GE приваблює простотою клавіатури. Він має тільки шість клавiш. Нижче на рис. П.3.12 подана система основних функцій клавіатури.

Керівна клавiша має п'ять робочих клавiш. Робочі клавiші доступні (здатні виконувати функції) тільки після натиснення клавiші shift, скорочено SHFT. Цій клавiші дамо номер 6.

Отже, керівна клавiша SHFT має п'ять головних функцій:

1. Встановлення величин, що будуть вимірюватися.
2. Контроль відбитого (зворотного) сигналу та запуску/зупинки вимірювань.
3. Встановлення виду вимірювання (М або Т) (М - поодинокий, багаторазовий; Т - до рухомого об'єкта).
4. Зміни розмірності величин.

Освітлення дисплея і сітки ниток (вмикає/вимикає) та затримання відображення горизонтального кута на дисплеї.

Кожна з п'яти робочих клавiш виконує дві-три функції. Нижче подано перелік функцій робочих клавiш (табл. П.3.3).

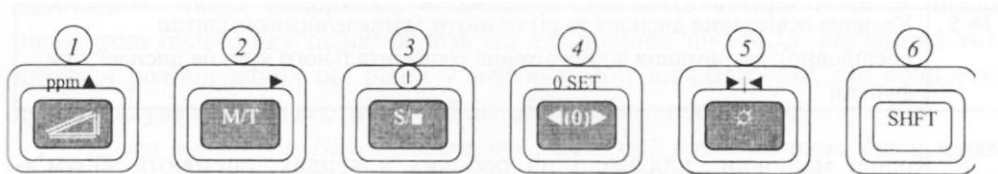


Рис. 11.3.11. Клавіатура тахеометра SET-GE



Рис. П.3.12. Основні функції клавіатури

Перелік робочих функцій клавіш

№ 1	Клавіша послідовного вибору розташування вимірюваної віддалі(горизонтальної, похилої, вертикальної); три функції
№ 2	Клавіша вибору виду (характеру) вимірювання; М - поодиноким, багатократний, Т - до рухомого об'єкта; три функції
№ 3	Клавіша запуску/зупинки вимірювань та контролю відбитого сигналу; три функції
№ 4	Клавіша встановлення горизонтального кута на "0", (лівого, правого); дві функції
№ 5	Клавіша освітлення дисплея та сітки ниток (вмикає/вимикає світло послідовно); затримання відображення горизонтального кута на дисплеї; три функції

Кодові малюнки, зображені на робочих клавішах, сприяють запам'ятовуванню їхніх функцій і відрізняють їх від керівної клавіші Shift.

3. Провідні виробники електронних тахеометрів.

Провідні виробники електронних тахеометричних систем: «Spectra Precision» (Швеція/Німеччина), «Leica» (Швейцарія), «Sokkia», «Topcon», «Nikon», «Pentax» (Японія), що випускають близько 100 моделей та модифікацій електронних тахеометрів, (рис. 8.28-8.31), розглядають останні як геодезичні системи первинного значення, функціональні можливості яких можуть доповнюватися можливостями супутникових приймачів. Так, «Spectra Precision» у 1998 р. уперше представила об'єднану систему, що поєднує можливості тахеометра й супутникового приймача. Основа системи — модульний електронний тахеометр «Geodimeter 600», один із модулів якого — одночастотний супутниковий GPS-приймач, що встановлюється на місці додаткової клавіатури. Антена розміщена зверху на ручці для транспортування.

Сучасні тахеометри значно відрізняються не тільки за технічними характеристиками, конструктивними особливостями, а й насамперед орієнтацією на конкретного користувача або певну сферу застосування. Тому тахеометри можна також класифікувати за їхнім призначенням для вирішення конкретних завдань. Точність і дальність вимірів у цьому випадку вже не відіграють істотної ролі. Визначальним стає фактор ефективності застосування приладу для вирішення конкретного типу завдань. Наприклад, для виконання традиційних робіт із землеустрою досить мати простий механічний тахеометр із мінімальним набором убудованих програм. У той же час для пошукових робіт і будівництва автомагістралей найефективнішим буде застосування роботизованого тахеометра, що має функції автоматичного спостереження за відбивачем, контролер програми, що дають змогу не тільки працювати з проектними даними, а й відтворювати отримані результати безпосередньо в полі на екрані контролера.

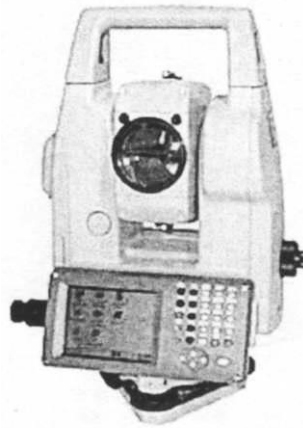


Рис. 8.29. Електронний тахеометр «Торсон» GTS-800A

Перша серія повністю модульних тахеометрів — «Geodimeter System 600» — була представлена компанією «Spectra Precision* (колишня назва «Geotronics») у 1994 р., коли були випущені дві базові моделі тахеометрів цієї серії — механічна й така, що має сервоприводи, що дають можливість автоматизувати не тільки наведення на призму, а й здійснювати спостереження за відбивачем, що переміщається.

На початку 90-х років ХХ ст. були закладені основні принципи розвитку електронних тахеометрів: модульність — щодо конструктивності й автоматизація (роботизація) — функціональності (рис. 8.32). І якщо «Geodimeter 600» залишається майже єдиним повністю модульним приладом, то роботизовані моделі із серво-приводами й системами автоматичного спостереження за призмою випускають й інші виробники тахеометрів. Слід також зазначити, що серед супутникових геодезичних приймачів на сьогодні тільки приймачі фірми «Javad Positioning Systems* мають модульну структуру.



Рис. 8.31. Тахеометр «Trimble 5600DR»



Сучасний електронний тахеометр, як і його оптичний попередник, вимірює кути й відстані до віхи або штатива з відбивачем. Ці первинні виміри є основою для подальших, часом складних обчислень, які виконуються вмонтованим або зовнішнім контролером. Точність вимірювань визначають блоки або модулі виміру кутів, відстаней і модуль компенсатора.

Якщо говорити про точність, то кутові виміри, як правило, обмежуються точністю 1", а лінійні — 1 мм + 1 мм/км. Цей поріг насамперед пов'язаний не з технічними проблемами вимірювальних систем, а із впливом навколишнього середовища. Найвища точність, що заявлена в характеристиках тахеометрів окремих виробників, при звичайних роботах й умовах практично не досяжна через вплив навколишнього середовища й похибок центрування й наведення. Точність вимірювань найпростіших тахеометрів, як правило, не нижче 5-6" для кутових вимірювань і 3 мм + 3 мм/км — для лінійних.

Для дотримання точності кутових вимірів надзвичайно важливий діапазон компенсації впливу кутів нахилу вертикальної й горизонтальної осей. Ця величина особливо істотна при роботі тахеометром зі штативу. Далекомір тахеометра характеризується не тільки точністю, а й дальністю. Як правило, це дальність вимірювання відстані до однієї призми. Слід зазначити, що ці характеристики пов'язані одна з одною.

Незважаючи на те, що значна частина вимірювань тахеометром не перевищує 500-1000 м, періодично доводиться вимірювати значно більші відстані. Тому нині найкращими є далекоміри з точністю вимірів не нижче 2 мм + 2 мм/км при дальності 3000-4000 м. Збільшувати дальність вимірів недоцільно й неефективно.

Останнім часом широкого застосування набули тахеометри з далекоміром, що дають змогу вимірювати відстані безпосередньо до об'єкта без відбивача. Як правило, дальність таких вимірювань не перевищує 100-150 м, а точність визначається в межах 10-20 мм. До недоліків зазначених систем варто віднести залежність точності вимірів від властивостей поверхні, що відбиває, і відсутність надійної фіксації точки виміру.

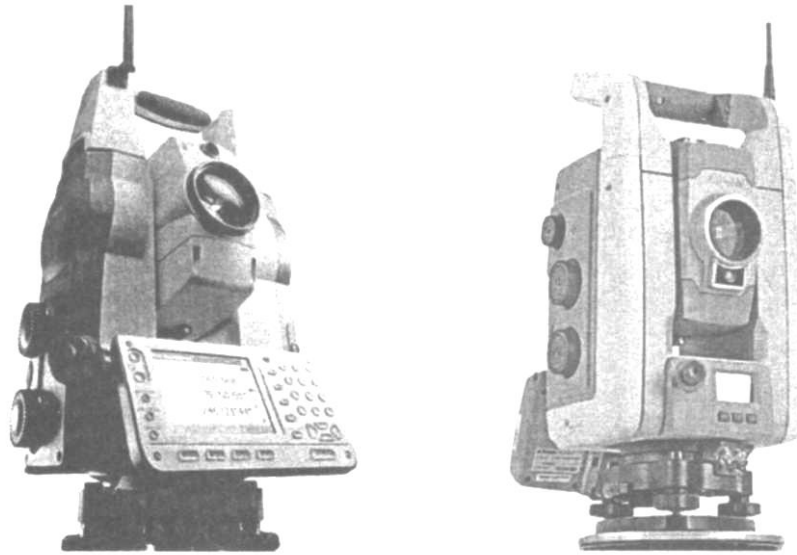


Рис. 8.32. Роботизовані електронні тахеометри

Важливою складовою електронного тахеометра є модуль контролера — вмонтованого або зовнішнього. До модуля контролера належить не тільки польовий комп'ютер-обчислювач, а й пульт-клавіатура керування самим тахеометром. Від його продуктивності, обсягу пам'яті, типу екрана, наявності й кількості вбудованих програм залежать функціональні можливості тахеометра. Більшість моделей тахеометрів мають убудований контролер, керований клавіатурою. Клавіатура може бути цифровою або алфавітно-цифровою. Деякі моделі тахеометрів мають клавіатури по обидва боки. Кількість клавiш клавіатури в середньому буває в межах від 10 до 30, залежно від можливостей тахеометра. Клавіатура з мінімальним числом клавiш, кожна з яких багатофункціональна, дуже незручна й неефективна. У той же час деякі тахеометри мають повністю спільні з комп'ютерами QWERTY-клавіатури.

Деякі зовнішні контролери мають DOS-сумісні процесори, наприклад типу «Intel 486». Інформація, що збирається, записується на карти типу PCMCIA або на вбудовану мікросхему. При цьому діапазон інформації має від 1 до 10-50 тис. точок. Вбудовані програми також можуть бути записані на зовнішніх картах або вмонтованих мікросхемах. Зовнішні контролери, як правило, це серійні ручні комп'ютери, типу Husky або HP, оснащені спеціальним програмним забезпеченням.

У моделях серії «Geodimeter System 600» контролер — це знімна клавіатура, тому його можна віднести до особливого виду. Її застосування має безсумнівні переваги, тому що є не просто клавіатурою, а контролером, що має внутрішню пам'ять і внутрішні програми. «Зчитування» інформації, зібраної в полі, не вимагає доставки в офіс тахеометра — достатньо однієї клавіатури. Обсяг пам'яті, як і наявність тих або інших убудованих програм, визначається користувачем. Це зручно при роботі декількох виконавців з одним тахеометром — у кожного своя клавіатура-контролер. При роботі в роботизованому режимі не потрібен додатковий контролер/пульт керування на віху з відбивачем.

Останнім часом як контролери широко використовуються польові графічні пен-комп'ютерп, або комп'ютери з активним екраном (pen/penpad computer або touch screen computer). За основу створення таких комп'ютерів взято ідею позбавлення від клавіатури й повернення до використання ручки або олівця, але вже без традиційного польового журналу. За їхньою допомогою можна не тільки управляти роботою тахеометра або геодезичного супутникового приймача, а й

обробити на місці й переглянути графічне відображення результатів знімання на екрані пенкомп'ютера (рис. 8.33).



Рис. 8.33. Польовий пен-комп'ютер

Графічний контролер «GeodatWin» («Spectra Precision»), що з'явився в 1998 р., є представником нового покоління таких систем. На відміну від безлічі інших графічних контролерів, що базуються на стандартних пен-комп'ютерах, які випускаються серійно комп'ютерними фірмами, його можна встановлювати на тахеометри «Geodimeter» замість знімної клавіатури або на супутниковий геодезичний приймач («GeodatWin» може також працювати з тахеометрами інших виробників). Технічні характеристики, програмні можливості й стійкість «GeodatWin» проти зовнішніх кліматичних умов (вологостійкий корпус, діапазон робочих температур від -20 до $+50$ °C) цілком дозволяють назвати тахеометр, оснащений «GeodatWin», «електронною мензулою».

4. Перевірки теодолітів.

Назвемо шість основних перевірок теодолітів:

1. Перевірка циліндричного рівня.
2. Перевірка круглого (сферичного) рівня.
3. Перевірка сітки ниток.
4. Перевірка колімаційної похибки та ексцентриситету осей (аліади відносно лімба).
5. Перевірка горизонтальності осі обертання зорової труби.
6. Перевірка оптичного виска.

До цих шести перевірок теодолітів необхідно додати перевірку місця нуля вертикального круга (фактично перевірку тахеометра), враховуючи, що у наш час не випускають теодолітів без вертикальних кругів. Усі інші перевірки сучасних теодолітів та тахеометрів стосуються перевірок електронного обладнання, зокрема, передусім, перевірок світловідалемірів. Ці перевірки будуть розглянуті під час вивчення світловідалемірів. Перевірки 1-5 детально викладені в курсі "Топографія". Тому тут ми сформулюємо тільки вимоги до взаємного розташування осей теодоліта, які повинні виконуватися.

Перша перевірка. Вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта. Віссю циліндричного рівня називають дотичну в нуль-пункті шкали рівня. Ця дотична горизонтальна тільки тоді, коли середина бульбашки розміщена в нуль-пункті. За вертикальну вісь теодоліта прийнято вважати вертикальну вісь обертання аліади, а не лімба. Зауважимо, що ці дві вертикальні осі повинні бути паралельними, оскільки вони,

як правило не збігаються через наявність деякої лінійної величини - ексцентриситету алідади відносно лімба. Під час виконання першої перевірки рівень встановлюють приблизно паралельно до лінії, що з'єднує будь-які два підймальні гвинти. Виводять середину бульбашки у нуль-пункт шкали рівня, а потім повертають алідаду на 180° . Під час виконання сформульованої вимоги середина бульбашки повинна залишатися в нуль-пункті. Якщо середина бульбашки зміщується від нуль-пункту, тоді виправними гвинтами рівня переміщують бульбашку на половину дуги відхилення. Якщо, наприклад, відхилення становить чотири поділки шкали рівня, тоді бульбашку переміщують на дві поділки шкали. У результаті змінюється розташування осі рівня у вертикальній площині, так, що вона стає перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта.

Друга перевірка. Вісь сферичного (круглого) рівня повинна бути паралельною до вертикальної осі обертання теодоліта. Віссю сферичного рівня називають нормаль до сферичної поверхні у центрі сферичного рівня. Центром сферичного рівня є центр малого кола (радіусом 1,0-1,5 мм). Для перевірки виконання умови найпростіше привести вертикальну вісь теодоліта у прямовисний стан за допомогою перевіреного циліндричного рівня. Тоді у разі виконання умови паралельності осі сферичного рівня та вертикальної осі обертання теодоліта центр бульбашки сферичного рівня повинен збігатися з центром сферичного рівня. Під час юстування бульбашку переміщують за допомогою трьох виправних гвинтів сферичного рівня, розташованих у нижній частині рівня.

Третя перевірка. Сітка ниток має бути встановлена правильно: вертикальна нитка повинна бути прямовисною, а горизонтальна нитка — горизонтальною. У теодолітах перевіряють вертикальну нитку (бісектор). Для цього спочатку алідаду та лімб за допомогою циліндричного рівня встановлюють у робочий стан (горизонтально). Потім на віддалі 20-50 м від теодоліта підвішують тягарець (висок) на довгій нитці. Трубу наводять на нитку так, щоб верхній кінець вертикальної нитки сітки ниток збігався з якоюсь точкою нитки з тягарцем. Тоді по всій довжині вертикальна нитка сітки повинна збігатися з ниткою з тягарцем. Достатньо перевірити вертикальну нитку, оскільки заводи, що виготовляють теодоліти, забезпечують взаємну перпендикулярність ниток сітки. Юстування виконують відповідним повертанням сітки ниток так, щоб нитка сітки та прямовисна нитка з тягарцем збігались по усій довжині.

Четверта перевірка. Візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярною до горизонтальної осі обертання труби. Візирна вісь - уявна лінія, що проходить через центр сітки ниток та центр об'єктива. Величину неперпендикулярності цих осей називають колімаційною похибкою. Наявність колімаційної похибки визначають наведенням зорової труби на одну і ту саму далеку точку (приблизно в горизонті приладу) при крузі праворуч (КП) та ліворуч (КЛ). Кожне наведення труби супроводжують відліками горизонтального круга. За відсутності колімаційної похибки різниця відліків повинна становити 180° . Значення колімаційної похибки визначають за формулою

$$c = \frac{a - (b \pm 180^\circ)}{2} \quad (\text{П.3.20})$$

У (П.3.20) c - колімаційна похибка;

a та b - відліки горизонтального круга відповідно при КП та КЛ. Якщо колімаційна похибка $c > 10''$, її мінімізують. Для цього знаходять середній відлік (с. в.), який дорівнює

$$c_{с.в.} = \frac{a + (b \pm 180^\circ)}{2}. \quad (\text{П.3.21})$$

Повертають алідаду навідним гвинтом і встановлюють середній відлік (с. в). Центр сітки ниток виявиться не наведеним на вибрану точку. Виправними боковими гвинтами сітки ниток переміщують сітку так, щоб центр сітки був наведений на точку. Необхідно стежити, щоб не порушити правильність встановлення сітки ниток. Для технічних теодолітів з односторонньою системою відліків необхідно одночасно з визначенням колімаційної похибки виконувати перевірку ексцентриситету алідади відносно лімба (ексцентриситету осей). Виконання цієї перевірки детально описано в курсі "Топографія".

П'ята перевірка. *Горизонтальна вісь обертання зорової труби повинна бути горизонтальною — перпендикулярною до вертикальної осі теодоліта.* За відсутності колімаційної похибки і горизонтальності осі обертання труби візирна вісь труби (під час обертання) описує вертикальну площину, яку і повинна створювати зорова труба теодоліта. Якщо вісь обертання труби не горизонтальна, то труба, точніше, візирна вісь (під час обертання) буде описувати нахилену площину, що під час вимірювання горизонтальних кутів буде вносити значні різниці у значення кутів, виміряних при КЛ та КП. Негоризонтальність (кут нахилу осі i) можна визначити так. На горизонтальній ділянці земної поверхні встановлюють теодоліт на віддалі $S = 20-30$ м (віддаль, що вимірюється) від вертикальної стіни будинку Н. На рис П.3.13 $S = I - A'$. Вибирають на стіні довільну, помітну точку A . Приводять теодоліт у робочий стан, наводять трубу на точку A та, повертаючи трубу у вертикальній площині, проєктують точку A на горизонт теодоліта (на таку саму висоту, що і центр вертикального круга теодоліта, точка 1) при двох розташуваннях круга - КЛ та КП. Відмічають на стіні дві точки A_1 та A_2 (це робить помічник спостерігача олівцем). Якщо точки A_1 та A_2 збігаються, умова виконується. Під час нахилу осі обертання труби на кут i'' , візирна вісь описуватиме нахилені площини, слідами яких на рис. П.3.13 є лінії AA_1 та AA_2 . Визначають половину горизонтальної віддалі між точками A_1 та A_2 , тобто $a = A_1A'$, а також вимірюють вертикальний кут v .

Як видно з рис. П.3.13, $\frac{a}{h} = \operatorname{tg} i = \frac{i''}{\rho''}$. Тому

$$i'' = \frac{a\rho''}{h}. \quad (\text{П.3.22})$$

З цього самого рисунка можемо записати $\frac{h}{S} = \operatorname{tg} \nu$, отже,

$$h = S \operatorname{tg} \nu. \quad (\text{П.3.23})$$

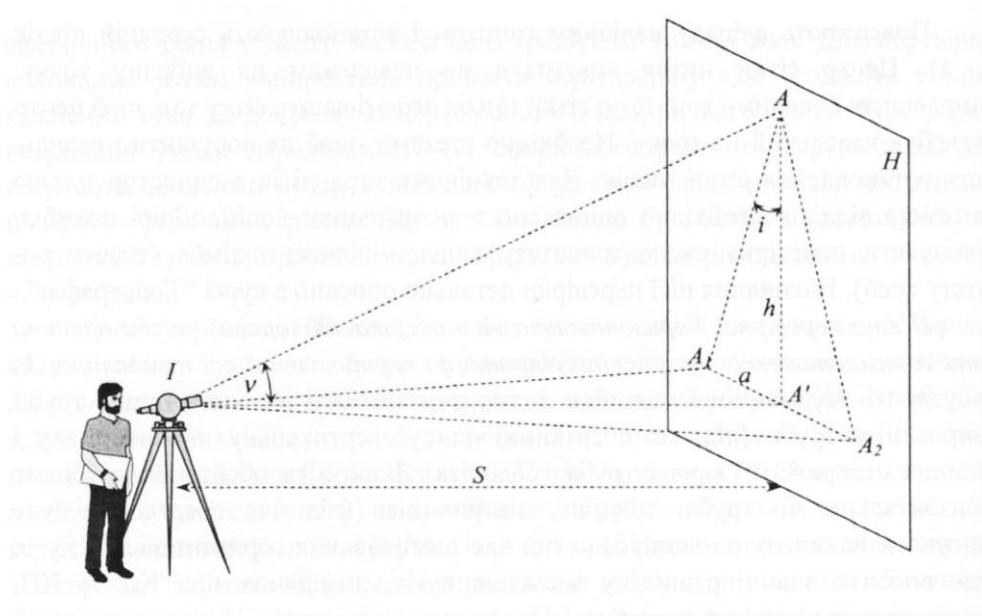


Рис. 11.3.13. До визначення негоризонтальності осі обертання труби теодоліта

Підставивши h з рівняння (П.3.23) в (П.3.22), отримаємо кінцеву формулу для визначення кута нахилу осі i'' .

$$i'' = \frac{a\rho''}{S \operatorname{tg} \nu}. \quad (\text{П.3.24})$$

Виправити розташування осі обертання труби, щоб позбутися кута i'' для оптичних та електронних теодолітів, можливо тільки в оптичній майстерні.

Шоста перевірка. Візирна вісь оптичного виска повинна збігатися з вертикальною віссю обертання теодоліта. Оптичний висок - це ламана труба, схема якої показана на рис. П.3.14. Точка O_1 - центр окуляра, C - сітка ниток, M — точка на заломлюваній поверхні призми, O_2 - центр об'єктива, T — центр геодезичного знака, над яким необхідно зцентрувати теодоліт. Виконуючи перевірку, встановлюють, чи збігається лінія $M-O_2$ з вертикальною віссю обертання алідадної, верхньої частини теодоліта.

Цю перевірку виконують по-різному, залежно від того, де розташований (де вмонтовано) оптичний висок - на підставці теодоліта чи на його алідадній частині. Якщо висок на алідадній частині, тоді перевірку виконують так: виском центрують теодоліт над цим геодезичним пунктом T або над будь-якою точкою так, щоб під час горизонтального розташування алідади центр сітки виска C проектувався на точку T (рис. П.3.14). Далі, відкріпивши закріпний гвинт алідади, повертають алідаду і спостерігають, чи не зміщується проекція центра сітки ниток C з точки T . Якщо не зміщується - умова виконується. Якщо ж проекція центра сітки C зміщується і під час повороту алідади на 360° описує коло деякого радіуса, то виправними гвинтами сітки ниток потрібно переміщати сітку ниток так, щоб центр сітки ниток проектувався на центр цього кола. Після переміщення сітки ниток ще раз ретельно горизонтують алідаду за допомогою

циліндричного рівня, уточнюють центрування над точкою T , переміщуючи теодоліт на головці штатива. Далі ще раз повертають алідаду на 360° і спостерігають, чи не зміщується центр сітки C з точки T . За необхідності повторюють дії, описані вище.

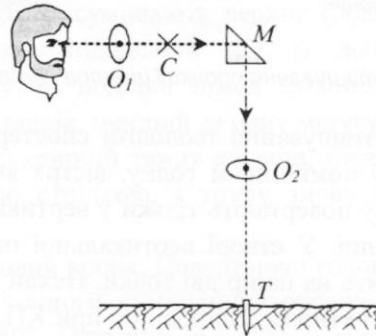


Рис. 11.3.14. Схема оптичного виска (центрира)

Якщо оптичний висок вмонтовано в підставку теодоліта, то перевірку виконують іншим способом, який можна також застосувати і для теодолітів, у яких висок вмонтовано в алідадну частину. Тому цей метод можна вважати універсальним, до того ж він точніший. На зоровій трубі зверху є мітка, яка у разі горизонтального розташування труби розміщена на продовженні вертикальної осі обертання теодоліта. Як відомо, ця вісь проходить і через центр лімба, а саме центр лімба повинен бути на одній висковій лінії, що є вершиною горизонтального кута, який необхідно виміряти. Для виконання перевірки необхідно мати ще один теодоліт. Цим додатковим теодолітом проєктують мітку на трубі на горизонтальну поверхню. Для цього під досліджуванним теодолітом, який встановлено на штативі, кладуть горизонтально на поверхню землі квадратну частину дошки (можна використовувати мензульну дошку). На дошку прикріплюють аркуш паперу. Мітку на трубі проєктують на папір допоміжним теодолітом з трьох розташувань, вибраних так, щоб спроектовані вертикальні площини перетиналися під кутами у 120° .

У разі першого розташування теодоліта спостерігач наводить трубу на

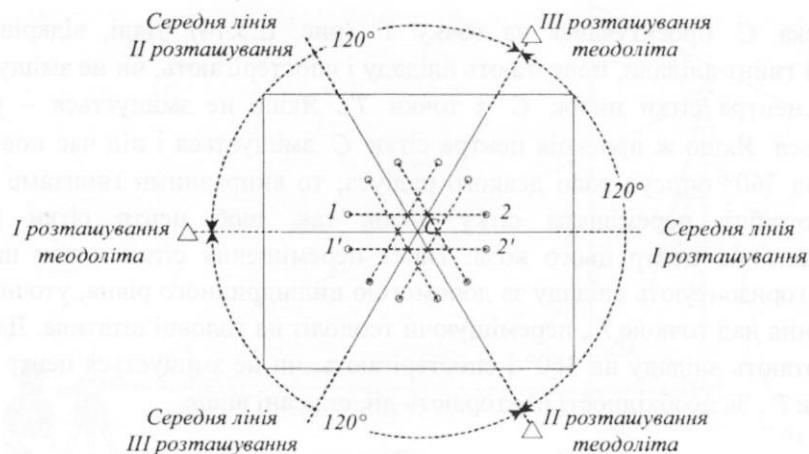


Рис. 11.3.15. Визначення розташування проєкції центра лімба (осі обертання лімба) C

вертикально встановлену помічником голку, вістря якої суміщено з центром мітки на трубі. Далі трубу повертають тільки у вертикальній площині так, щоб було видно папір на дошці. У створі вертикальної площини помічник, яким керує спостерігач, наносить на папір дві точки. Нехай при КЛ це будуть точки 1 та 2, з'єднані штрих-пунктиром. Відповідно при КП отримано точки 1' та 2', які також з'єднані штрих-пунктиром. Проведена суцільна середня лінія. На цій лінії

розміщена шукана точка - проекція центра лімба C' . Щоб знайти цю точку з контролем, необхідно поставити допоміжний теодоліт ще в двох точках і аналогічно визначити розташування ще двох середніх ліній. У результаті, як це показано на рис. П.3.15, одержано проекцію точки C' . У цю точку повинен проектуватися центр сітки ниток оптичного центра C . Якщо ця умова не виконується, то виправними гвинтами сітки ниток центра переміщують сітку так, щоб проекція точки C збігалася з C' .

Запитання і завдання для самоперевірки.

1. Виконання яких процедур передбачає порядок виконання робіт із використанням електронних тахеометрів?
2. Які роботи виконують у процесі підготовки електронного тахеометра до вимірювань?
3. Які роботи виконують при безпосередньому виконанні робіт з електронними тахеометрами з використанням системного програмного забезпечення?
4. Які параметри вказують при формуванні записувальної функції електронного тахеометра?
5. Від чого залежить формування записувальної функції електронного тахеометра?
6. Які величини визначаються на кожній станції спостереження та при значних змінах стану атмосфери?
7. Які величини заносять в електронний тахеометр для опису кожної станції спостереження та кожного напрямку спостережень?
8. За зовнішнім виглядом електронного тахеометра 3Т назвіть його основні частини.
9. Яка точність кутових та лінійних вимірювань електронного тахеометра SET-GE?
10. Від застосування яких пристроїв залежать межі вимірювання відстаней електронним тахеометром SET-GE з необхідною точністю?
11. Скільки потрібно часу для визначення величини горизонтального прокладення між точкою, у якій встановлено тахеометр, та іншою точкою в якій встановлено відбивач?
12. Назвіть провідних виробників електронних тахеометрів?
13. Чи впливає присутність геодезиста на тривалість і точність відображення відліків на дисплеї електронного тахеометра?
14. Назвіть основні перевірки електронних тахеометрів?

Питання для самостійного опрацювання.

1. Законспектувати будову електронного тахеометра.

Література: Іщак М.В. Основи геодезії. – К.: грамота.2007 – 447 с. 149 – 163.

ЛЕКЦІЯ №57 Глобальні супутникові системи.

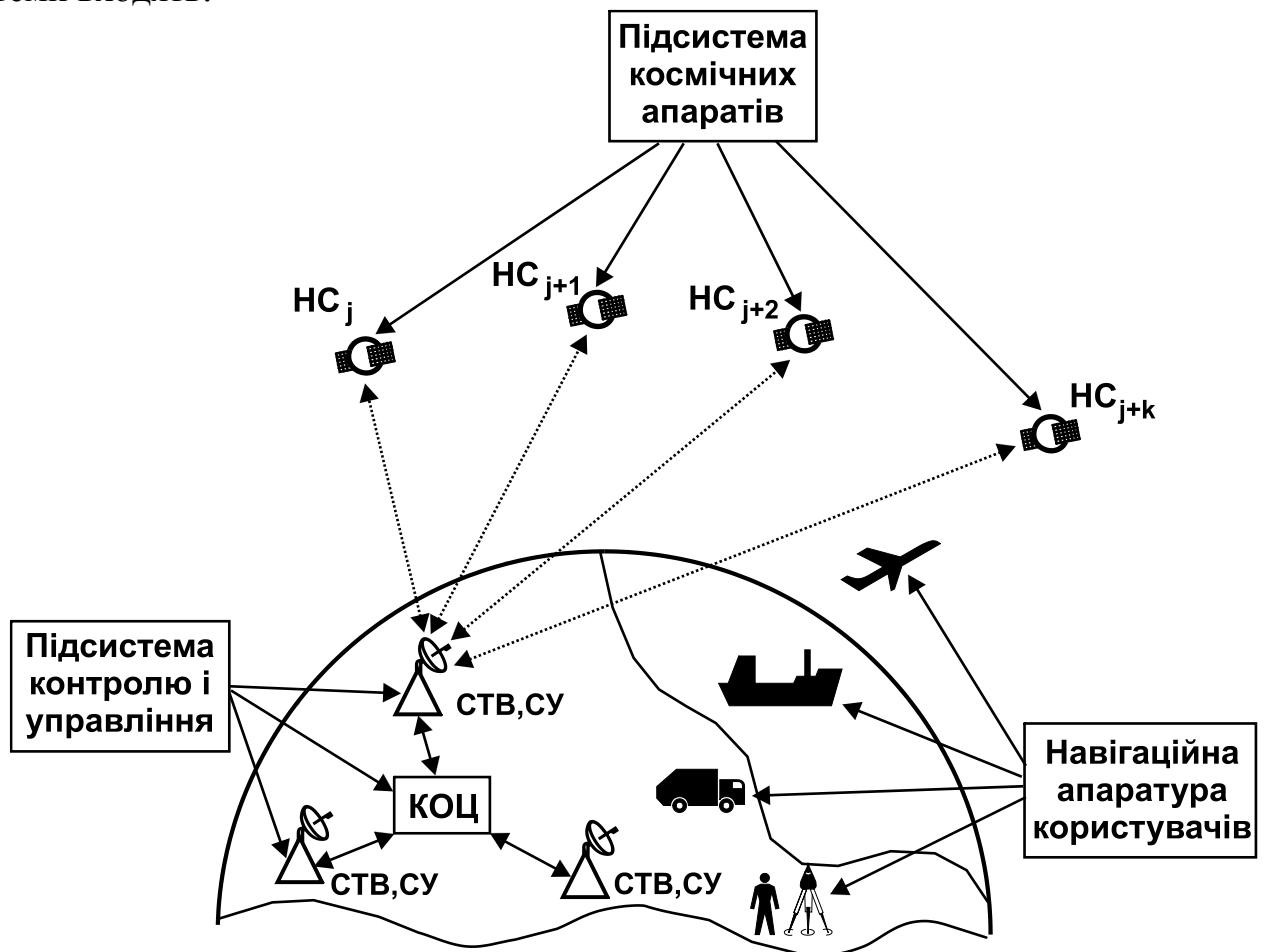
План

1. Найважливіші відомості про будову глобальних навігаційних систем.
2. Основи теорії визначення положення пунктів глобальними супутниковими системами.
3. Абсолютні та відносні методи супутникового вимірювання.
4. Основні відомості про параметри орбіт супутників.
5. Загальний принцип побудови супутникових передавачів системи GPS.

1. Найважливіші відомості про будову глобальних навігаційних систем.

Глобальна позиційна система GPS спроектована і сконструйована міністерством оборони США. Уряд США витратив понад 12 мільярдів доларів на створення системи і продовжує витрачати кошти на її розвиток і підтримання в робочому стані. Повна назва системи - Navigation System with Time and Raining, Global Position System. скорочена назва системи NAVSTAR/GPS. У перекладі ця назва означає: навігаційна система часу і віддалей, глобальна система визначення місцезнаходження. У Радянському Союзі була створена система ГЛОНАСС (глобальна навігаційна система супутників), початкова назва проекту "Ураган". Саме ці дві системи уже застосовуються в геодезії. Крім цього, Європейське співтовариство створює свою навігаційну систему GALLILEO.

Оскільки GPS-система створювалась передусім як військова, вона стійка, надійна і несприйнятлива до природних та штучних перешкод. До складу системи входять:



1. Навігаційні супутники.
2. Наземний комплекс керування.
3. Апаратура користувачів.

Отже, GPS поділяється на три блоки, які найчастіше називають *сегментами*.

Космічний сегмент. Повністю розвинутий космічний сегмент спроможний забезпечити у глобальному масштабі можливість одночасного спостереження від чотирьох до восьми супутників для кутів відсікання понад 15 градусів. Якщо цей мінімальний вертикальний кут між горизонтом і напрямком на супутник зменшити до 10 градусів, тоді час від часу в полі зору буде до 10 супутників, а за умови зменшення цього кута далі до 5 градусів кількість видимих супутників інколи може сягати 12. Для цього космічні апарати розташовуються на орбітах, близьких до кругових, з висотою над поверхнею Землі близько 20200 км та періодом обертання приблизно 12 зоряних (сидеричних) годин. Спочатку було заплановано здійснити запуск 24 супутників, які б обертались в трьох орбітальних площинах, нахилених під кутом 63° до екватора.

Пізніше космічний сегмент був скорочений до 18 супутників, які розташовувались по три на кожній із шести орбітальних площин. Згодом довелося відмовитися від цієї скороченої конфігурації, оскільки вона не забезпечувала можливості цілодобового неперервного використання системи в будь-якій точці на поверхні Землі. Приблизно в 1986 р. кількість ШСЗ була збільшена до 21, також по три супутники на кожній із шести орбітальних площин та три запасні супутники. Запасні супутники призначені для заміни зіпсованих "неактивних" супутників. Сьогодні планується конфігурація, що складатиметься з 24 діючих супутників, розташованих на шести орбітальних площинах, нахилених до площини екватора під кутом 55° , по чотири в кожній. Крім того, для оперативної заміни ще чотири запасні супутники є на Землі. Супутники виводяться дуже точно на свої орбіти відповідно до генерального плану розгортання системи і, оскільки на висоті 20200 кілометрів атмосферне гальмування практично відсутнє, залишаються на них протягом тривалого часу. Орбіти відомі заздалегідь, а у пам'яті комп'ютера кожного приймача є "альманах", тобто своєрідний довідник, що постійно оновлюється, з якого видно, де буде кожний супутник у будь-який момент часу.

Космічні апарати GPS фактично слугують платформами для встановлення трансенсорів (приймачів-передавачів), атомного годинника, комп'ютера та іншого устаткування, необхідного для роботи системи. Це електронне обладнання дає користувачу змогу своїм приймачем вимірювати відстань до супутника. Крім того, кожен спостерігач, завдяки інформаційному повідомленню про орбіти, яке кодується в сигналі із супутника, може визначити просторові координати рs супутника у довільний момент часу. Спираючись на ці дві можливості та на метод просторових засічок, користувачі можуть визначити свої координати на поверхні або поблизу Землі.

Допоміжне обладнання кожного супутника складається із двох сонячних батарей площею 7 м^2 , які забезпечують електричне живлення, та системи реактивних двигунів, потрібних для корекції орбіти та керування орієнтацією космічного апарата у 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.

Нині створено п'ять типів супутників GPS. їх розділяють на класи: Block I, Block II, Block IIА, Block IIВ, та Block IIС

Перший із супутників типу Block II коштував приблизно 50 млн. доларів США і важив більше ніж 1500 кг. Його запуск здійснено 14 лютого 1989 р за допомогою ракети "Дельта II" яка стартувала з космодрому ім. Кеннеді, що на мисі Канаверал у штаті Флорида. Сьогодні середня тривалість функціональної здатності супутників цього типу становить шість років.

Супутники наступного покоління, які названо Block II F (від слова follow on - наступний), будуть запускатись у період від 2001 до 2010 р. Ці супутники обладнуються удосконаленим устаткуванням для автономної навігації, наприклад, інерціальними системами навігації.

Планується збільшити термін роботи супутника Block II F до 14-15 років, а також увести в склад сигналів додаткову частоту L5, яка дорівнює 1176,45 МГц, що істотно полегшить визначення неоднозначності, характерне для фазового вимірювання.

Розгортання Російської системи ГЛОНАСС також проходить поетапно. Перший супутник системи (із назвою Космос 1413) був запусканий 12 жовтня 1982 р. До кінця 1998 р. було запускано 74 супутники, більшість з яких уже виведені з експлуатації. У лютому 2000 р. залишилось 8 супутників.

За проектними даними у сузір'я супутників ГЛОНАСС повинні також входити 24 супутники, розташовані на трьох орбітальних площинах, нахил яких щодо площини екватора дорівнює $64,8^\circ$. Номінальна висота кругової орбіти над землею становить 19100 км, період обертання навколо Землі 11 год 15 хв 44 с. Загальна маса супутника 1415 кг. Планується підвищити стабільність частоти генераторів, точність визначення ефемерид супутників та їхній прогноз, а також продовжити термін функціонування супутників. Проект запуску 24 супутників системи ГЛОНАСС здійснено в Росії важкими ракетами "Протон".

Технічні параметри системи NAVSTAR/GPS та ГЛОНАСС є різними. Істотною відмінністю цих систем є те, що в системі GPS усі супутники випромінюють коливання однакових частот, а в системі ГЛОНАСС кожен супутник випромінює свою частоту. Вивчається можливість одночасного використання обох систем для визначення положення наземних пунктів. Такі дослідження дуже важливі, оскільки дають змогу використати для визначення пунктів більшу кількість супутників (в обох системах понад сорок ШСЗ), не кажучи вже про те, що сигнали ГЛОНАСС не спотворюються і тому ця система дає змогу отримувати вищу точність.

Країни Європейського Союзу, як уже зазначалось, планують створити свою, незалежну від США, глобальну навігаційну систему.

У США для заміни супутників, які припинили функціонувати, починаючи з 1995 р. виводять на орбіти нові супутники кораблями "Шатл".

Сегмент керування. Сегмент являє собою мережу наземних станцій спостереження за ШСЗ і центрів оброблення інформації. Головним завданням сегмента є стеження за супутниками з метою визначення траєкторій ШСЗ та похибок годинників на їхньому борту. Крім того, через систему керування здійснюється синхронізація годинників та оновлення даних.

Цей сегмент складається з:

- *головного центра керування MCS (Master Control Station), розміщеного у місті Colorado Springs;*
- *основної станції керування GPS (Ground Control Station), що розташована на Гавайських островах;*

- *трьох стаціонарних станцій контролю (Monitor Station).* Вони розміщені на островах Вознесіння (Ascension) у північній частині Атлантичного океану, Дієго-Гарсія в Індійському океані та Кваджалейн у північній частині Тихого океану;

- *рухомих контрольних станцій.*

Як бачимо, станції сегмента керування розташовані на великих віддальх одна від одної. Вони безперервно приймають коливання, які випромінюють супутники, що розміщені в одній півкулі зі станцією. Віддалі від станцій до супутників визначають через півтора секундні інтервали часу. Віддалі усереднюються для інтервалів часу 15 хв. Крім того, на станціях керування виконуються метеорологічні зондування атмосфери по вертикалі з метою визначення поправок за тропосферу. Результати опрацювання сигналів супутників та вертикального зондування із контрольних станцій передаються до головного центра керування. Тут обчислюють ефемериди орбіт супутників та рівняння їхніх хронометрів (генераторів ШСЗ) на 12 годин наперед. Ці дані передаються на ШСЗ, а вони, своєю чергою, пересилають їх користувачам, точніше - на наземні приймачі користувачів системи GPS. Військово-картографічному агентству США підпорядковано ще п'ять станцій стеження, дані яких використовують для обчислення високоточних ефемерид супутників. Крім вищеописаних станцій, на Землі ще працюють приватні станції стеження за ШСЗ. Ці станції не керують роботою супутників, а виконують уточнення параметрів їхніх орбіт та рівнянь хронометрів (генераторів) супутників.

Сегмент користувача. Це власники приймачів сигналів ШСЗ, програмного забезпечення та комп'ютерів. Кількість приймачів системи є необмеженою, оскільки вони пасивні.

Для геодезичних вимірювань кожний споживач повинен мати мінімум два приймачі з антенами, комп'ютер та програмне забезпечення для відповідних геодезичних робіт.

Приймачі, які використовують геодезисти, виготовляють декілька фірм. Найвідоміші з них: Trimble, Ashtech (США), Leica (Швейцарія), Sercel (Франція), Sokkia (Японія). Кожна з фірм виготовляє декілька моделей, різних за точністю та ціною. Усі приймачі за кількістю частот, на яких вони здатні працювати, поділяють на дві великі групи:

- одночастотні;
- двочастотні.

Із назв цих приймачів зрозуміло, що перші приймають від супутників тільки одну частоту, а другі - дві частоти. Останні забезпечують більшу точність, тому що приймання двох частот дає змогу враховувати вплив іоносфери.

Будова приймачів, методика спостережень та опрацювання результатів спостережень увесь час удосконалюються, а точність визначення положення пунктів на поверхні Землі підвищується. Найточніші способи визначення положення спочатку були призначені тільки для військових цілей.

Сегмент користувача являє собою множину GPS-приймачів. За способом вимірювання віддалей GPS-приймачі радіосигналів із супутника можна розділити на такі групи:

- 1) С/А-кодові з використанням псевдовіддалей;
- 2) С/А-кодові з вимірюванням фази передавальної хвилі;
- 3) Р-кодові з вимірюванням фази передавальної хвилі;

4) У-кодові з вимірюванням фази передавальної хвилі.

За великої різноманітності приймачів на сучасному ринку доцільно описати їхні основні типи, а також принципи побудови, переваги і недоліки.

Одночастотні приймачі з малим енергоспоживанням. Ці пристрої проектуються як портативні і тому зазвичай працюють на батарейках. Для обмеження споживання енергії вони виконують визначення координат один раз на хвилину і потім самостійно вимикаються до наступного визначення.

Для індивідуального використання туристами або під час плавання на невеликих судах такі приймачі є найкращим компасом. їхня точність здебільшого вища, ніж точність системи Loran, і працюють вони в будь-якій точці земної кулі.

їхні основні недоліки - це низька, порівняно з іншими приймачами, точність, обмежені інтерфейсні можливості і грубе вимірювання швидкості руху.

Одночастотні приймачі. Ці пристрої також використовують один канал для вимірювання віддалей до всіх супутників робочого сузір'я, але вони не обмежені за енергоспоживанням. Звичайний одноканальний приймач може залишатися увімкненим постійно і, отже, бути точнішим, а також вимірювати швидкість із достатньою точністю принаймні доти, доки немає значних прискорень або різких змін курсу. Оскільки єдиний канал використовується і для приймання сигналів декількох супутників, і для обчислень віддалей, такі приймачі не можуть застосовуватися для безперервного визначення місцеположення.

Швидкодіючі мультиплексні одночастотні приймачі. Цей варіант дуже подібний на звичайні одночастотні приймачі, але в них перемикання від супутника до супутника відбувається набагато швидше. Настільки, що виявляється можливим практично одночасно і виконувати вимірювання віддалей, і стежити за сигналами супутників, тобто працювати у безперервному режимі. Приймачі цього варіанта менш чутливі до неточності ходу годинника.

Двочастотні приймачі послідовного типу. Наявність другого каналу значно розширяє можливості GPS-приймача. По-перше, вдвічі покращується відношення сигнал/шум системи. Своєю чергою, це означає, що з'являється можливість уловлювати супутникові сигнали під час несприятливіших умов і відстежувати супутники, що розміщені ближче до горизонту. Оскільки один канал може бути використаний тільки для опрацювання інформації про координати положення, а другий - тільки для пошуку і приймання сигналів чергового супутника, двоканальний приймач не перериває вимірювань та обчислень.

Самі визначення координат і швидкості можуть бути точнішими, оскільки у доброму двоканальному приймачі використовуються обчислювальні алгоритми, що виключають вплив неточності ходу його годинника.

Недоліком двоканального варіанта є те, що його використання є дорожчим і приймач буде споживати велику потужність.

Приймачі паралельного (безперервного) стеження. Приймачі, які відстежують чотири або більше супутників одночасно, можуть відображати миттєве положення і швидкість. Це дуже цінно у разі застосування на високодинамічних об'єктах і під час високоточних вимірювань. Ці пристрої часто використовуються в геодезії і для наукових цілей. Вони можуть мати від 4 до 10, 12 і навіть до 24 каналів стеження.

Крім очевидної переваги — безперервного вимірювання координат положення і швидкості, ці багатоканальні приймачі можуть також спростити

проблему з GDOP. Замість того, щоб виконувати обчислення на основі сигналів чотирьох у найкращий спосіб розташованих супутників, деякі із цих систем обробляють спільно сигнали всіх видимих у певний момент супутників. Застосування до цієї надлишкової інформації відповідних алгоритмів оброблення дає змогу мінімізувати помилки визначення місцезнаходження GDOP.

Для чотириканального приймача відношення сигнал/шум удвічі вище, ніж для двоканального, і в чотири рази вище ніж для одноканального. Крім того, здійснюючи взаємну відносну синхронізацію каналів, можна усунути будь-які міжканальні тимчасові зсуви, які могли б вплинути на точність визначення місцеположення.

Недоліком цього типу систем є збільшення їхніх розмірів, вартості і споживаної потужності.

Отже, хоча усі приймачі і сприймають одні і ті самі дані GPS, використовують вони їх по-різному.

2. Основи теорії визначення положення пунктів глобальними супутниковими системами.

Успішний запуск перших штучних супутників Землі та спостереження за супутниками виявили високу стабільність параметрів орбіт супутників, що дає змогу доволі точно обчислити положення супутника на будь-який момент часу.

Саме цей факт підштовхнув учених до незвичайної, революційної ідеї: використати штучні супутники як носії вихідних координат, за якими визначаються положення точок на поверхні Землі.

Досі було навпаки: такими носіями відомих (вихідних) координат слугували тільки пункти, жорстко закріплені на земній поверхні або на спорудах, жорстко скріплених із землею поверхнею, а положення супутників визначалось системою координат із початком на поверхні Землі або в центрі її мас.

Якщо згадати, що планета Земля також перебуває в безперервному русі в космічному просторі, то ідея передавання функції носіїв координат супутником стає правомірною.

Ідея передавання ролі носіїв координат супутникам докорінно змінила засади космічної геодезії. За цією ідеєю, названою революційною, положення пунктів на земній поверхні стосовно рухомих супутників можна визначити методами просторових кутових або лінійних засічок. Тому потрібно точно знати моменти часу, в які виконуються вимірювання. Тільки конкретний момент часу положення супутників є однозначним. Тому однозначним у цю мить є і розташування наземних пунктів стосовно супутників.

Як відомо GPS-визначення ґрунтуються на вимірюванні відстані від супутникового приймача, розташованого на поверхні Землі, до супутника. ШСЗ безперервно випромінюють радіохвилі. Приймачі, встановлені на земній поверхні, приймають ці коливання і вимірюють такі параметри, які дають змогу однозначно встановити напрямки на супутники або віддалі до них. Проте віддалі вимірюються точніше, тому сучасні супутникові системи є віддалемірними. Вимірювання віддалей виконується одночасно кодовим та фазовим методами.

Кодові визначення. Під час вимірювань за допомогою супутникових систем на передавальному кінці вимірюваної лінії (на супутнику) формується відповідний кодний сигнал, а на приймальному кінці лінії (у наземному приймачі) має бути сформований опорний сигнал відгуку, який обов'язково є

аналогічним до кодового сигналу. Ці коди в передавальному та приймальному пристроях повинні бути створені синхронно.

Код, що із сигналами супутника досягає приймача, є зсунутим у часі відносно коду, створеного приймачем. Це так звана репліка коду. Цей зсув $\tau_{\text{вим}}$ є мірою часу, за який сигнал із супутника досягає антени приймача і є пропорційним до віддалі супутник-Земля. У приймачі відбувається порівняння двох кодів, а точніше, виконується кореляційний аналіз, на основі якого визначається час $\tau_{\text{вим}}$ проходження сигналу від супутника до приймача.

Знаючи $\tau_{\text{вим}}$, можна знайти виміряну довжину $S_{\text{вим}}$ за формулою

$$S_{\text{вим}} = c \cdot \tau_{\text{вим}} \quad (\text{III. 1.3})$$

Проте (III. 1.3) потребує уточнення. Річ у тім, що супутник і наземний приймач повинні створювати коди в еталонний для GPS системи час.

3. Абсолютні та відносні методи супутникового вимірювання.

Як видно із попереднього, головним параметром координатних вимірів є віддаль між супутником та приймачем.

Залежно від мети задач, що розв'язуються, розрізняють абсолютні і відносні (диференційні) методи координатних визначень. У першому випадку поставлена задача може бути розв'язана на основі використання одного супутникового приймача, що працює незалежно. У другому випадку, за диференційним методом, використовуються два або більше приймачі, що одночасно працюють, встановлені на віддалених пунктах місцевості, координати яких визначаються. Кожну виміряну псевдовіддаль від приймача до супутника можна вважати радіусом сфери, у центрі якої супутник, а приймач - на поверхні цієї сфери. Побудуємо другу сферу, радіус якої дорівнює другій псевдовіддалі, тоді у центрі цієї другої сфери буде другий супутник. Тоді приймач буде на перетині кривих поверхонь двох сфер. Для визначення просторового положення приймача потрібно виміряти ще одну псевдовіддаль до третього супутника і побудувати третю сферу. Точка, в якій перетнуться поверхні трьох сфер, і буде точкою положення приймача. Отже, для визначення просторового положення приймача потрібно разом розв'язати три рівняння сфер:

$$S_{i_{\text{вим}}} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}, \quad (\text{III.1.20})$$

де $S_{i_{\text{вим}}}$ - віддаль до i -го супутника x_i, y_i, z_i - відомі координати i -го супутника, $i = 1, 2, 3$, x, y, z - шукані координати приймача.

Фактично, оскільки наявна асинхронність хронометрів, запишемо:

$$S_{i_{\text{вим}}} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + c (\delta t_{np} - \delta t_{nep}). \quad (\text{III.1.21})$$

Величини δt_{np} , та δt_{nep} , - відхилення годинників наземного приймача та супутникового передавача від еталонного часу GPS. Значення δt_{nep} для кожного супутника визначається станціями спостережень за супутниками, які входять в сектор керування і контролю та передаються у складі навігаційних даних кожному користувачу. Будемо поки що вважати величини δt_{nep} відомими. Але невідомими залишаються δt_{np} , - зсуви годинника приймача. Тому у рівнянні (III. 1.21) чотири невідомих - x, y, z та δt_{np} .

Саме тому для розв'язання задачі координування потрібно спостерігати, як мінімум, чотири супутники.

Кількісна оцінка усіх перерахованих похибок абсолютного методу, що ґрунтується на кодових методах, подана у табл. III. 1.1. Якщо всі ці похибки вважати випадковими, то їхній сумарний вплив становить, наближено, 8 метрів.

Таблиця III. 1.1

Кількісні значення похибок

№ з/п	Джерело похибок	Значення похибок С/А коду, м
	Іоносфера	7,0
	Тропосфера	0,7
	Багатошляховість	1,2
	Шуми приймача	1,5
	Координатно-часове забезпечення супутників	3,6
	Сумарна похибка	8,1

4. Основні відомості про параметри орбіт супутників.

У супутникових системах, як ми вже знаємо, носіями координат є ШСЗ, які рухаються своїми орбітами. Тому точки орбіти, на яких перебувають супутники, і є координатами супутників. Необхідно пам'ятати, що ці координати супутники мають тільки у визначені миті часу. Тому параметри орбіти і параметри роботи хронометрів повинні бути точно узгоджені. Ці параметри увесь час контролюють наземні станції сегмента керування. Значення параметрів з наземних станцій керування періодично передають на ШСЗ, а супутники, своєю чергою, пересилають їх кожному приймачу. Важливо знати закони руху ШСЗ, значення основних параметрів орбіт та роботи хронометрів.

Якщо Землю вважати однорідним тілом, тоді рух супутників навколо неї описується законами Кеплера. Для супутників Землі ці закони можна сформулювати так:

- орбітою супутника є еліпс, в одному з центрів якого розміщена Земля;
- радіус-вектор супутника (лінія, яка з'єднує центр Землі з супутником) за однакові проміжки часу описує рівні площі;
- відношення квадратів періодів обертання двох супутників дорівнює відношенню кубів великих півосей орбіт супутників.

Рівняння руху супутників отримують із закону всесвітнього тяжіння Ньютона. Воно є векторним рівнянням другого порядку з шістьма сталими інтегрування. Рух супутників відносно Землі має шість степенів свободи, і тому його визначає шість основних параметрів орбіти.

Для точного визначення місцезнаходження реального супутника використовується орбітальна система координат, яка є інерціальною - не обертається разом із Землею.

5. Загальний принцип побудови супутникових передавачів системи GPS.

По суті, супутники являють собою платформи, на яких кріпиться апаратура, необхідна для роботи системи. До цього обладнання входять:

- 1) дві сонячні батареї площею 7 м^2 для живлення вузлів обладнання;
- 2) системи реактивних двигунів, за допомогою яких коригують положення супутника на орбіті;
- 3) передавач супутника, який безперервно випромінює коливання двох частот L_1 та L_2 .

Ці коливання одночасно є передавальними і вимірювальними. Як передавальні ці коливання використовуються для передавання кодів на наземні станції; одночасно коливання є вимірювальними, оскільки їх застосовують для точних фазових вимірювань. Головним вузлом передавача, який синхронізує роботу інших вузлів, є основний високостабільний атомний генератор. Його також коротко називають хронометром. Він випромінює частоту $f_0 = 10,23 \text{ МГц}$, стабільність якої досягає 10^{-12} , тобто є дуже високою. Довжина хвилі цих коливань дорівнює $29,31 \text{ м}$. Ці коливання і їхню частоту називають стандартними. Передавальні частоти L_1 та L_2 формуються завдяки множенню частоти атомного генератора відповідно на 154 і на 120/ Отримують частоти $f_{L1} = 1575,42 \text{ МГц}$ і $f_{L2} = 1227,60 \text{ МГц}$, які відповідають дециметровому діапазону хвиль ($\lambda_{L1} = 19,0 \text{ см}$ і $\lambda_{L2} = 24,4 \text{ см}$).

У цьому коді за 1 с передається 50 двійкових знаків, тобто щільність інформації - 50 біт/с . Ця інформація сформована у блоки тривалістю по 30 с .

Запитання і завдання для самоперевірки.

- 1.3 якою метою в геодезії використовують супутникові радіонавігаційні Системи, що вони собою представляють?
- 2.Що потрібно для здійснення GPS-спостережень?
- 3.Які прилади використовують для визначення координат точок у плані і по висоті із застосуванням супутникових радіонавігаційних систем?
- 4.Які пристрої входять до конструкції GPS-систем?
- 5.3 якою точністю можна визначити координати точки в плані та по висоті, застосовуючи технології супутникових спостережень?
- 6.3 допомогою яких пристроїв відбувається накопичення та передача даних отриманих у результаті супутникових спостережень?
- 7.На якій висоті від Землі розташовані космічні апарати на орбітах?

ЛЕКЦІЯ № 58 Технології GPS-вимірювання.

План

1. Методи спостережень за допомогою GPS-приймачів.
2. Статичний метод визначення координат пунктів.
3. Робота у режимі "кінематика".

1. Методи спостережень за допомогою GPS-приймачів.

Як уже зазначалося, існують абсолютні та відносні методи спостережень за допомогою GPS-приймачів. У геодезії використовують тільки відносні методи, які є в десятки разів точнішими, ніж абсолютні. Тому надалі будемо розглядати тільки відносні (relative) методи.

Спочатку було створено тільки дві відносні технології GPS-вимірювання: статичну та кінематичну. Здавалось, ці дві технології задовольняють як цивільні, так і військові організації.

Проте користувачі вимагали підвищення точності результатів вимірювання з одночасним скороченням часу на виконання вимірювання. Це вимагало поліпшення системи GPS, конструювання компактніших, легших, переносних приймачів з удосконаленим програмним забезпеченням. Останнє, своєю чергою, привело до того, що на основі вищезазначених технологій вимірювання було створено ще декілька, а саме:

1. *Статичні відносні технології вимірювання* (Static relative positioning).
2. *Кінематичні відносні технології вимірювання* (Cinematic relative positioning).
3. *Напівкінематична відносна технологія* (semi-cinematic relative positioning) (технологія "стій/йди" - technology: "stop and go").
4. *Технологія псевдостатична, псевдокінематична, відносна реокупаційна* (pseudo-static, pseudo-cinematic relative positioning, intermittent static positioning, reoccupation).
6. *Технологія швидка статична відносна* (fast/rapid static relative positioning).
7. *Диференційні GPS-технології* (differential GPS-DGPS).

Одним із найважливіших параметрів, які визначають режим роботи приймача, є файл конфігурації місії. Він може бути різним залежно від особливостей шести вищезазначених технологій вимірювання. Для побудови супутникових геодезичних мереж (далі СГМ) та топографічного знімання існують відповідно два основні режими роботи: статичний режим - для СГМ та режим знімання "стій/йди" - для знімання. Назва "статичний" походить від статичного збирання інформації на пункті упродовж певного проміжку часу. Мінімум два приймачі виконують спостереження тих самих супутників упродовж однієї або декількох сесій спостережень (по декілька годин щодня) і залишаються стаціонарно на тих самих пунктах.

Для відносних кінематичних технологій один приймач установлюють *стаціонарно, на точці з відомими координатами*, а другий - *на рухомому об'єкті*. Це типова навігаційна технологія. У ній застосовується так зване положення об'єкта в "*реальному часі*". Суть цієї технології в тому, що базова (нерухома)

станція передає до рухомого приймача поправки, які використовуються ним для уточнення координат рухомої станції.

Технологія дає змогу визначити дискретно (із перервами 1-5 с) координати рухомого об'єкта щодо приймача, встановленого стаціонарно. Такий режим застосовується, наприклад, під час аерознімання. Технологію "стій/йди" називають ще напів-кінематичною. Головна відмінність цієї технології від кінематичної у тому, що під час визначення положення рухомий приймач (*роверний*) не рухається, як у кінематичній технології, а зупиняється (стоїть) деякий короткий проміжок часу на точці, координати якої визначаються.

2. Статичний метод визначення координат пунктів.

Статичний метод є основним під час побудови СГМ і застосовується найчастіше. Для статичної технології всі приймачі за весь час спостережень розміщені на одних і тих самих пунктах. Час виконання спостережень залежить переважно від заданої точності та від віддалі між пунктами (довжин векторів). З багаторічного досвіду різних організацій відомо, що достатньо:

1.30-90 хвилин для локальних сесій.

2.1-2 дні для пунктів, зарахованих до державної, геодинамічної сесії.

3.4—6 днів для сесій континентальних й основних геодинамічних.

Наприклад: для вимірювання геодезичної локальної сесії для довжин сторін до 15—20 км достатньо виконати спостереження впродовж 1 години, для сесії типу EUREF (European Reference Frame), коли якась країна виконує вимірювання до найвищого закладу Західної Європи - сесія проходить 5 днів.

На практиці точність такої технології становить $5 \text{ мм} \pm 1 \text{ мм}$ на 1 км довжини вектора, що визначається. Під час вимірювання статичними методами важливим є підбір відповідних приймачів. Для відстаней між пунктами, більших за 100 км, потрібно використовувати приймачі із частотами L_1 та L_2 . На коротких лініях, коли є достатня кількість супутників, за умови доброї геометрії розташування супутників можна отримати високу точність за порівняно невеликої тривалості спостережень. Швидкість вимірювання та підвищена продуктивність підтримуються достатньо досконалими алгоритмами оброблення у програмному забезпеченні SKI.

Важливим для супутникових спостережень є так званий геометричний фактор. Точність лінійної просторової засічки залежить не тільки від точності лінійного вимірювання, але й від геометрії розташування супутників: від кутів, під якими перетинаються у шуканій точці напрямки із супутників.

Параметр, який оцінює зростання похибок вимірювання через геометрію

Precision - зниження точності). Цей параметр використовується як коефіцієнт між точністю визначення координат $m_{рез}$ та точністю вимірювання віддалі до супутників m_0 .

$$m_{рез} = DOP \cdot m_0. \quad (\text{III.2.1})$$

розташування супутників, отримав назву геометричного фактора, який у сучасних публікаціях прийнято позначати аббревіатурою *DOP*

Найуніверсальнішим показником є параметр *GDOP* - геометричний фактор зниження точності, який характеризує одночасно як точність тривимірного позиціонування, так і часу. Він виражається формулою:

$$GDOP = \frac{\sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_h^2 + m_t^2 \cdot c^2}}{m_0}, \quad (\text{III.2.2})$$

де m_x, m_y, m_h - середні квадратичні похибки визначення по осях координат;
 m_t - середня квадратична похибка визначення часу;
 c - швидкість ЕМХ.

Отже, $GDOP$ дає змогу оцінити геометрію супутникового "сузір'я". Маленьке значення $GDOP$ (< 8) свідчить про добру геометрію. Високе значення $GDOP$ означає, що супутникове "сузір'я" погане. Чим менше $GDOP$, тим більша ймовірність отримати добрі результати. Значення $GDOP$, менше за шість, вважається допустимим, а більше за шість — завеликим. Коефіцієнти $GDOP$ відображають лише миттєву геометрію для окремої точки. Ці коефіцієнти обчислюють самі приймачі. Вони ж автоматично вибирають оптимальну конфігурацію супутників. Одночасно з $GDOP$ використовують також $GDOP$ - фактор, що враховує тільки фактор тривимірного позиціонування, без похибок визначення часу, і $HDOP$ - аналогічний фактор, але тільки для зниження точності розташування у горизонтальній площині; $VDOP$ - у вертикальній.

Для переважної більшості пунктів умови щодо $GDOP$ виконуються, якщо в полі зору доступні п'ять або більше супутників. Найкраще "вікно" спостережень для "статички" повинно містити чотири і більше супутників з $GDOP < 8$ під час кута відсікання, що дорівнює 15° (вертикальний кут між горизонтом і напрямком на супутник).

Другим чинником, що може викликати значне зниження точності, є іоносферне збурення. Іоносферне збурення змінюється в часі і залежить від положення пункту на земній поверхні. У нічний період доби іоносферні збурення значно менші, ніж у світлий період доби. Тому в нічний період можна зменшити час спостережень наполовину або вдвічі збільшити довжину вектора.

2.1. Визначення координат методом "стій/йди" ("stop and go")

Метод "стій/йди" створений на основі статичного методу. Він є найшвидшим для детального топографічного знімання. Застосовується, коли між базовою та мобільною станціями невеликі віддалі. Під час вимірювання технологією "стій/йди" беруть участь щонайменше два приймачі GPS. Найвигіднішим у цій технології є те, що рухомий приймач виконує вимірювання на рядових пунктах (наприклад, пікетах) тільки 1-2 хвилини. Час витрачається переважно тільки на переміщення з пункту на пункт, а на пункті - "затримуємось" і зразу ж ідемо далі.

Робота в режимі "стій/йди" складається із двох частин:

1 - частина ініціалізації, яка необхідна для того, щоб розв'язати початкову неоднозначність під час постопрацювання за допомогою програмного забезпечення SKI;

2 — мобільна частина, у межах якої розв'язання неоднозначності вносяться в програмне забезпечення SKI. Ініціалізація та наступна за нею мобільна частина називаються ланкою режиму "стій/йди".

Головний недолік такої технології в тому, що протягом спостережень усієї мережі пунктів (під час вимірювання на пункті і навіть під час транспортування чи перенесення приладу з пункту на пункт) обов'язковим є зв'язок хоча б із чотирма супутниками GPS. Тому цю технологію неможливо застосувати на

територіях із високими забудовами, у лісі. Рух під деревами, мостами перериває вимірювання. Якщо з'являється повідомлення про втрату захоплення сигналів і, у результаті, захоплення менше ніж чотирьох супутників, потрібно заново почати ланку спостережень. Тому цей метод можна застосувати тільки на відкритій місцевості, незарослій і незабудованій.

Ініціалізацію можна виконувати одним із трьох способів:

1. *Приблизно 25-хвилинне статичне вимірювання довільної бази.* Це виконується до початку вимірювання. Мінімум два приймачі ведуть статичне вимірювання на двох довільних пунктах, а далі рухомий приймач виконує мобільну частину. Такий спосіб ініціалізації називають ще режимом "швидкої статики".

2. *Установлення станції на точці з відомими координатами або відомим вектором між двома точками.* Виконується вимірювання статично протягом 5-10 хв.

3. *Статичне вимірювання із заміною антен.* Обидва приймачі виконують вимірювання статично упродовж 5 хв, а далі в приймачах замінюються антени і продовжуються спостереження ще близько 5 хв. Точність визначення координат точок у режимі "стій/йди" дорівнює $1-2 \text{ см} \pm 1 \text{ ррм}$.

2.2 Визначення координат методом "швидкої статики"

Статичний метод - це класичний метод GPS-знімання, який використовується на довгих лініях. Спостереження можуть тривати декілька годин.

На коротких лініях, за нормальних умов для роботи, час спостережень може бути значно зменшеним - до 5-10 хвилин. Звідси термін "швидка статика". Отже, для "швидкої статики" час спостережень скорочується до проміжків часу, близьких до методу "стій/йди".

Проте під час "швидкої статики" мобільна станція залишається на пункті 5—10 хвилин. Потім вона вимикається і переміщується на наступну точку. Під час знімання в режимі "стій/йди" мобільна станція залишається увімкненою, а захоплення супутників обов'язково зберігається також під час переміщення приймача з точки на точку. У цьому істотна відмінність між "швидкою статикою" та методикою "стій/йди".

З іншого погляду, "швидка статика" є різновидом статичного методу. Для "швидкої статики" особливо необхідно, щоб іоносферні збурення були більш-менш ідентичними для двох точок встановлення.

Орієнтовна тривалість і довжина баз для "швидкої статики"

Кількість супутників GDOP < 8	Наближена довжина базисних ліній, км	Приблизний час спостережень	
		вдень, хв	Вночі, хв
4 і більше	до 5	5-10	5
4 і більше	5-10	10-20	5-10
5 і більше	10-15	більше за 20	5-20

3. Робота у режимі "кінематика".

Робота у режимі "кінематика" аналогічна до режиму "стій/йди". Вона складається із двох частин:

1. *Частини ініціалізації*, яка необхідна для того, щоб розв'язати початкові неоднозначності під час постпольового оброблення, виконаного за допомогою програмного забезпечення SKI.

2. *Мобільної частини*, у межах якої розв'язання неоднозначності вносяться у програмне забезпечення SKI.

Розбіжностями між режимами "кінематика" і "стій/йди", по-перше, є те, що під час мобільної частини в режимі "стій/йди" вимірювання стосуються тільки реальних точок на місцевості, а під час мобільної частини в режимі "кінематика" вимірювання стосуються визначених моментів часу; по-друге, як уже зазначалось, у режимі "кінематика" мобільний приймач рухається безперервно, а в режимі "стій/йди" мобільний приймач зупиняється.

Ініціалізація та наступна за нею мобільна частина називаються ланками режиму "кінематика".

Ініціалізація - необхідний процес. Неоднозначності повинні бути розв'язані під час постопрацювання за допомогою програмного забезпечення SKI. Тільки після цього значення знайдених неоднозначностей будуть послідовно передаватися вперед за допомогою SKI у мобільну частину ланки.

Ініціалізація може бути виконана з використанням:

1. *Режиму "швидка статика"*.
2. *Встановлення станції на точці з відомими координатами*.

На мобільній ділянці ланки повинно спостерігатися не менше від чотирьох супутників. Якщо супутників менше ніж чотири, через втрату захоплення сигналу або розташування супутників SKI не може передавати вперед значення неоднозначностей, і ланка буде перервана.

Значення GDOP не повинне перевищувати 8, якщо результати за точністю мають досягати значень, зазначених у технічних характеристиках. Бажано, щоб значення GDOP дорівнювало або було менше за 5.

Щоб досягти високоточних результатів визначень координат у режимі "кінематика", необхідно виконувати вимірювання у максимально сприятливих вікнах розміщення супутників.

Будова та технічні характеристики компактного одночастотного приймача GPS ProMark-2

Комплект системи PгоMagк-2 складається із двох або більше приймачів з антенами та допоміжними компонентами.

Приймач, завдяки своїй компактності, менший за вартістю порівняно з іншими приймачами, а також доволі високий за точністю вимірювання, широко застосовується у геодезичному виробництві. Крім фірми Ashtech, аналогічний приймач виготовляє фірма Magellan Corporation, названий ProMark X-СМ, а фірма Ashtech почала випускати модифікований приймач PгоMagк-3. Приймач PгоMagк-2 отримує та зберігає неопрацьовані дані з GPS-супутників про кожну точку знімання. Дані із приймача пізніше піддаються пост-опрацюванню з метою визначення положення точок знімання. Зовнішній вигляд приймача показано на рис. III.3.9.



Рис. III.3.9. GPS-приймач ProMark-2

Рис. III.3.10. Зовнішня GPS-антена

Якщо для навігації достатньо вмонтованої у приймач антени, то для отримання даних точного геодезичного знімання необхідна зовнішня антена (рис. III.3.10)

Зовнішня антена має точку, у якій фізично збираються дані з GPS-супутників про положення (просторові координати) саме цієї точки. Тому ця точка антени повинна прямовисною лінією проектуватися на центр геодезичного знака або точки місцевості, положення якої визначається. Антена центрується за допомогою оптичного центрира та стандартного штатива або GPS-штатива.

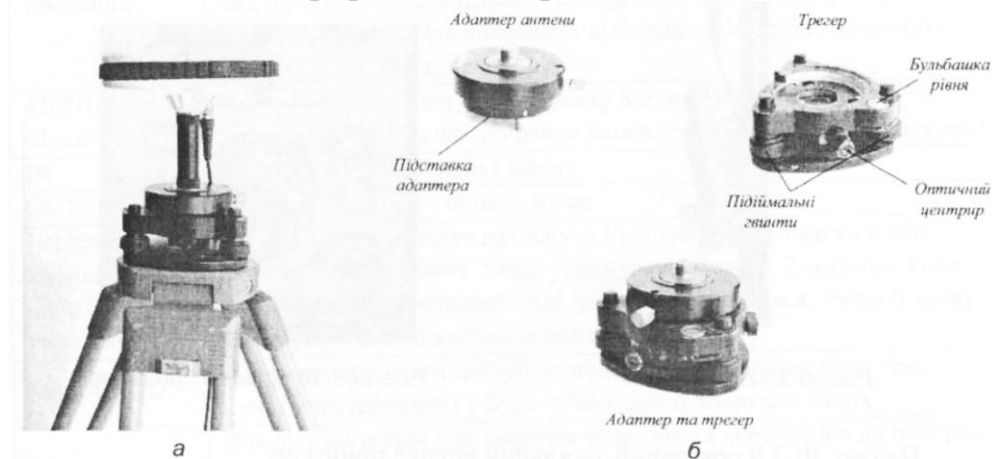


Рис. III.3.16: а – антена, адаптер, трегер та штатив; б – трегер та адаптер антени окремо та в зібраному вигляді

До комплекту приладу входить програма постопрацювання (Ashtech Solutions).

Програма має модулі, які забезпечують завантаження та опрацювання супутникових даних із кожного приймача ProMark-2.

До комплекту приймача ще входить польова сумка для транспортування приладу.

кріплення ProMark-2 може бути використана віха, показана на рис. III.3.17.



Рис. III.3.17. GPS-віха



Рис. III.3.18. Клавiші приймача

На рис. III.3.9 показаний загальний вигляд приймача.

На рис. III.3.18 показана панель керування приймачем - керівні клавiші.

У таблиці III.3.2 описано функції кожної клавiші.

Таблиця III. 3.2

Клавiші, що використовуються під час роботи з приймачем

Клавiші	Опис дії
ENTER, Введення	використовується під час виконання вибраної функції, редагування вибраних параметрів або введення вибраних значень, які наведені у меню <i>survey menu</i> (меню в режимі "знімання"). Наприклад: серед них функція "Point Attribute" вибирається за допомогою стрілок "вверх" і "вниз". Для виконання цієї функції потрібно натиснути клавiшу ENTER і т. д.
MENU, Меню	Призначена для доступу до пункту <i>Survey Menu</i> в будь-який момент, навіть під час збирання даних (тобто під час спостережень)
IN	Ввійти у вибраний пункт меню
OUT	Вийти із вибраного пункту меню
Червона кнопка on/off ув/вимкн	Якщо клавiшу швидко натиснути і відпустити, вмикається або вимикається приймач. Якщо утримувати клавiшу 2 секунди, коли приймач уже ввімкнений, тоді дисплей підсвітиться. Якщо її знову утримувати 2 с, підсвічення вимкнеться
Mark/GOTO	Дає змогу отримати доступ до пункту <i>Point Attribute</i> (дані про пункт спостережень) у будь-який момент збирання даних
ESC	використовується для закриття поточного і повернення до попереднього пункту меню. Відредаговані, попередньо не збережені параметри, закриті за допомогою цієї клавiші, не зберігаються
Овальна кнопка із чотирма стрілками	Дає змогу виділити функцію, яку ви хочете виконати, або виділити величини, які потрібно ввести. Пункт "Mode" дає змогу працювати в режимах <i>Survey</i> або <i>Navigate</i> . Стрілки "вверх" та "вниз" призначені для перемикання між режимами <i>Survey</i> і <i>Navigate</i>

Останній сигнал *Extreme Low Power*. Після такого сигналу робочий файл закривається, а приймач вимикається через 10 с. Потрібна заміна батарей.

Підготування приймача Pro Mark-2 до роботи та виконання спостережень на геодезичному пункті.

Для підготування приймача Pro Mark-2 до роботи необхідно:

1. З'єднати штатив та трегер.
2. Зцентрувати штатив із трегером над точкою за допомогою оптичного центрира. Це виконується так само, як і в електронного тахеометра.
3. З'єднати антену з вертикальним подовжувачем; нижній кінець подовжувача з'єднати з адаптером і його підставкою.
4. З'єднати зібрану GPS-антену із трегером, закріпленим на штативі. Після цього перевірити центрування антени над точкою.
5. Помістити приймач Pro Mark-2 у польовий утримувач.
6. Приймач разом з утримувачем закріпити на штативі на такій висоті, щоб було зручно працювати, як це показано на рис. III.3.21.
7. Прикріпити на антену кабельний з'єднувач. Прикріпити другий кінець кабелю до задньої частини приймача. Це робиться простим засуванням з'єднувача в названу частину приймача.
8. Виміряти та записати висоту приймача та висоту GPS-антени за допомогою рулетки. Бажано записати висоту як у метрах, так і у футах. Це зменшить імовірність появи похибки вимірювання висоти.

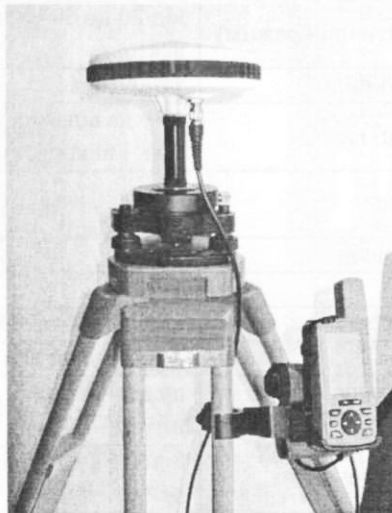


Рис. III.3.21. Закріплення приймача на штативі

Запитання і завдання для самоперевірки.

1. Що покладено в основу статичних відносних технологій вимірювань?
2. Що потрібно для здійснення GPS-спостережень?
3. Що покладено в основу кінематичних відносних технологій вимірювань?
4. Як визначаються координати методом "стій/йди"?
5. Як визначаються координати методом "швидкої статики"?
6. Який час ініціалізації при визначенні координат методом "стій/йди"?
7. Який час ініціалізації при визначенні координат методом "швидкої статики"?
8. Чим відрізняється виконання робіт з одно та двох частотними приймачами?
9. Що розуміють під словами положення об'єкта в "реальному часі"?
10. Скільки потрібно спостерігати в полі зору спутників при GPS зйомці?
11. Що потрібно для підготовки приймача GPS Pro Mark-2 до роботи?

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ.

- 1.Перевірка і юстування мензули і кіпрегеля.
- 2.Визначення перевищень та горизонтальних прокладень ліній при мензульній зйомці.
- 3.Створення знімальної мережі при мензульному зніманні.
- 4.Підготовка планшета до знімання. Пряма, бокова та обернена засічки при створенні знімальної мережі.
- 5.Знімання подробиць місцевості мензулою та кіпрегелем. Установка мензулина станції.
6. Рівноточні вимірювання.
7. Нерівноточні вимірювання.
8. Загальні поняття про картографічні проєкції.
9. Плоскі прямокутні координати Гаусса.
- 10.Створення площ в проєкції Гаусса.
- 11.Визначення географічних та прямокутних координат кутів рамки трапеції масштабу 1:5000 за географічними координатами пункту.
- 12.Визначення географічних координат кутів рамки трапеції за номенклатурою листа карти масштабу 1:10000 та 1:2000.
- 13.Топографічні карти і плани, їх зміст та призначення.
- 14.Рельєф місцевості та його зображення на картах і планах.
- 15.Побудова профілю місцевості за заданим напрямком.
- 16.Математична основа карт і планів.
- 17.Умовні знаки на топографічних картах і планах. Позарамкове оформлення карт і планів.
- 18.Система географічних координат.
- 19.Зближення меридіанів.
- 20.Визначення відміток станцій при складанні профілю по карті.
- 21.Користування топографічними картами та планами.
- 22.Визначення прямокутних та географічних координат точок.
- 23.Розграфлення і номенклатура листів топографічних карт і планів.
- 24.Читання топографічних карт та планів.
- 25.Загальне поняття про тахеометричне знімання.
- 26.Перевірки та юстування тахеометрів.
- 27.Виконання перевірок та юстувань тахеометрів. Вимірювання горизонтальних кутів.
- 28.Вимірювання кутів нахилу тахеометром. Місце «нуля» вертикального круга його призначення та застосування.
- 29.Найпростіші способи знімання місцевості.
- 30.Проведення тахеометричного знімання. Ведення польового журналу.
- 31.Послідовність виконання робіт при обробці журналів тахеометричного знімання.
- 32.Знімання контурів ситуації: способи, порядок. Складання абрисів при тахеометричному зніманні.
- 33.Обробка матеріалів тахеометричного знімання. Визначення координат точок (станцій) тахеометричного ходу.
- 34.Тахеометричне знімання. Камеральна обробка польових вимірювань:

- вирівнювання кутів і приростків та визначення координат точок.
- 35.Перевірка обчислень у приростках координат замкнутого та розімкнутого тахеометричного ходу.
 - 36.Обчислення і вирівнювання приростів координат розімкнутого теодолітного ходу. Визначити абсолютну та відносну похибку вимірювання.
 - 37.Визначення і зрівноваження горизонтальних кутів розімкнутого тахеометричного ходу.
 - 38.Камеральна обробка польових вимірювань: визначення перевищень та обчислення відміток станцій.
 - 39.Визначення відміток пікетних точок.
 - 40.Нанесення точок зйомочної основи та нанесення ситуації.
 - 41.Складання плану тахеометричного знімання місцевості.
 - 42.Складання кальки контурів і висот.
 - 43.Проведення горизонталей по висотах точок.
 - 44.Види державної геодезичної мережі та їх характеристика.
 - 45.Побудова державної геодезичної мережі методом полігонометрії.
 - 46.Побудова державної нівелірної мережі.
 - 47.Будова теодоліта 2Т5К. Перевірка теодоліта його юстування.
 - 48.Приведення теодоліта в робоче положення та його перевірки.
 - 49.Знімання ситуації і рельєфу місцевості
 - 50.Вимірювання горизонтальних кутів способом повного прийому. Обробка журналу польових вимірів.
 - 51.Відлікові пристрої, зорові труби теодолітів та їх характеристика.
 - 52.Вимірювання горизонтальних напрямів способом повторень. Ведення журналу польових вимірів та його обробка.
 - 53.Створення знімальної геодезичної мережі.
 - 54.Вимірювання горизонтальних напрямів способом кругових прийомів.
 - 55.Спрощене вирівнювання центральної системи. Визначення координат точок.
 - 56.Визначення перевищень та відміток пунктів тріангуляції центральної системи.
 - 57.Спрощене вирівнювання мереж згущення по методу В.В. Попова.
 - 58.Спрощене вирівнювання кутів у мережах згущення по методу В.В. Попова.
 - 59.Зв'язок між азимутами, румбами та горизонтальними кутами.
 - 60.Спрощене вирівнювання мереж згущення способом послідовних наближень.
 - 61.Спрощене вирівнювання кутів у мережах згущення, створених методом з однією вузловою точкою.
 - 62.Вирівнювання кутів методом наближень
 - 63.Побудова геодезичних мереж згущення методом тріангуляції.
 - 64.Побудова геодезичних мереж згущення методом полігонометрії.
 - 65.Спрощене вирівнювання перевищень у мережах згущення по методу В.В. Попова.
 - 66.Мета і методи визначення координат окремих точок знімального обґрунтування.
 - 67.Прив'язка точки ходу методом лінійної засічки та визначення координат засічки.

68. Прив'язка точки ходу методом оберненої засічки та визначення координат оберненої засічки.
69. Прив'язка точки ходу методом лінійної засічки та визначення координат засічки.
70. Визначення координат окремих точок знімального обґрунтування методом чотирикутника без діагоналей (задача Ганзена).
71. Спрощене вирівнювання кутів геодезичного чотирикутника.
72. Передача координат від пунктів полігонометрії на земельну ділянку.
73. Прив'язка точки ходу методом прямої засічки та визначення координат прямої засічки.
74. Спрощене вирівнювання ланки трикутників.
75. Обернена засічка. Визначення координат окремих точок знімального обґрунтування методом оберненої засічки по формулам Кнейселя.
76. Визначення координат додаткового геодезичного пункту методом прямої засічки по формулах Гаусса та Юнга.
77. Прив'язка пунктів геодезичних мереж та способи відшукування пунктів.
78. Передача координат з вершини знаку на землю.
79. Геодезичні знаки, їх типи. Види полігонометричних центрів.
80. Проведення прив'язки геодезичного пункту до твердих контурів місцевості (зарисовка прив'язок).
81. Електронні, цифрові та лазерні нівеліри: назви, марки, види, їх призначення у використанні.
82. Будова світловіддалемірів СТ-5 "Блеск" та 2СТ-10 "Блеск 2".
83. Електронні тахеометри та їх повірки.
84. Будова електронного тахеометра.
85. Особливості ведення абрису виміряних кутів та довжин ліній електронним тахеометром.
86. Визначення перевищень та горизонтальних прокладань ліній з використанням ЕОМ та таблиць.
87. Глобальні супутникові системи.
88. Технології GPS вимірювання.
89. Різниця у виконанні GPS-знімань статичним і кінематичним методами.
90. Передача результатів GPS-спостережень на ПК, їх камеральна обробка та оцінка точності.