

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 2. МЕТОДИКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ЗАСОБАМИ ГЛОБАЛЬНИХ ПОЗИЦІЙНИХ СИСТЕМ.

Тема 1. Супутникове позиціонування.

Викладення основного матеріалу:

- 1. Загальні принципи та коротка історична довідка.*
- 2. Геометричні принципи позиціонування.*
- 3. Беззапитний метод, шкали часу і стандарти частот.*

Завдання для самостійної роботи № 6

Тема «Глобальні супутникові системи»

Питання:

- 1. Основні концепції глобальних супутникових систем .*
- 2. Будова системи NAVSTAR/GPS .*

Рекомендована література згідно робочої навчальної програми – [1, 3, 4].

Ключові поняття та терміни: глобальні системи, супутникове позиціонування, GPS, ГЛОНАСС, сектори космічний, управління і контролю, супутникові приймачі, геоцентрична система координат X, Y, Z, WGS-84, ПЗ-90, сигнал супутника, часова мітка, синхронізація годинників, віддалемірний і різницевий методи, ефемериди супутника, Universal Time, GPST.

1. Загальні принципи та коротка історична довідка.

1.1. Загальні принципи.

Супутниковим позиціонуванням називають визначення місцеположення (координат в просторі) наземного пункту, нерухомого або об'єкта, що рухається, за допомогою супутникових навігаційно-геодезичних систем (СНГС). У випадку, коли об'єкт рухається, визначається, окрім координат, вектор його швидкості (тобто швидкість і напрям руху), а також здійснюється прив'язка до еталонних шкал часу.

1.2. Коротка історична довідка.

Розробка систем супутникового позиціонування почалася в кінці 50-х років ХХ сторіччя, незабаром після запуску першого радянського штучного супутника Землі. Цей супутник був запусканий в 1957 році, а вже в грудні 1958 р. в США була почата програма створення супутникової навігаційної **системи NNSS** (Navy Navigation Satellite System), призначеної для військово-морського флоту США. Пізніше ця система отримала назву **"Транзит"** (TRANSIT). Вона була здана в експлуатацію в 1964 р., а з 1967 р. була відкрита для цивільного комерційного використання. Система "Транзит" містила **6** супутників, виведених на майже кругові полярні орбіти з середньою висотою порядку **1075 км**, і наземний командно-вимірний комплекс з чотирма станціями стеження. Апаратура споживачів – прийомоіндикаторний пристрій або, простіше, приймач - могла встановлюватися на необмеженій кількості рухомих об'єктів (необов'язково на кораблях).

"Транзит" - система доплерівського типу, в якій координати приймача одержують за декількома різницями відстаней від приймача до різних положень супутника при його русі, визначаючи ці різниці з **інтеграції доплерівського зсуву частоти**. Система "Транзит" зіграла дуже велику роль в навігації, її послугами користувалися тисячі споживачів в різних країнах. Здобула популярність також доплерівська система "Геос" (GEOS). В СРСР в 1967р. почала розроблятися доплерівська система **"Цикада"**, введена в експлуатацію в 1979р.

Всі ці системи забезпечували точність отримання координат порядку **50-100м**, а в окремих випадках і більш високу. Головним *їх* **недоліком** була мала оперативність вимірювань: для досягнення високої точності було потрібне декілька проходжень ШСЗ в полі зору приймача, а перерви між проходженнями супутників, наприклад, в системі "Транзит" складали півтори години. Це послужило спонукальним мотивом до розробки систем другого покоління - **глобальних супутникових систем.**

Глобальні системи забезпечують отримання координат в будь-якій точці Землі в будь-який довільний момент часу і за будь-якої погоди. Це стало можливим завдяки збільшенню висоти орбіт супутників до **20 тис. км** і збільшенню числа самих супутників **до 24**. Унаслідок цього в будь - якій точці на поверхні Землі може одночасно спостерігатися **не менше 4-х супутників** – мінімально необхідна кількість для визначення координат наземного приймача ; практично дуже часто їх спостерігається більше, що дає можливість вибирати їх оптимальні конфігурації.

В даний час в світі існують дві глобальні системи: **американська - GPS і російська - ГЛОНАСС.**

Обидві вони складаються з **трьох секторів: космічного (супутники), наземного сектора управління і контролю і сектора користувача (супутникові приймачі).** Більш детально пристрій і робота глобальних супутникових систем освітлюється у відповідному розділі. Відмітимо, що в російському стандарті 2001 року систему GPS рекомендується називати російською аббревіатурою ГСП (Глобальна Система Позиціонування), але ми використовуватимемо назву GPS, загальноприйняту у всьому світі.

2. Геометричні принципи позиціонування.

Будь-яка точка в просторі характеризується, як відомо, трьома координатами, які можуть бути лінійними, кутовими або змішаними. Існує декілька різних систем просторових координат, що детально вивчаються в курсі вищої геодезії.

В супутниковій геодезії найзручнішою є *геоцентрична* (тобто з початком в центрі мас Землі) прямокутна система координат X, Y, Z .

Зв'язок між цією системою і широко вживаною у вищій геодезії системою геодезичних (просторових еліпсоїдних) координат B, L, H (геодезичних широти, довготи і висоти) встановлюється за відомими формулами. Нас тут цікавитиме дещо інший аспект.

В якій би системі координат ні розглядалася дана (визначувана) точка простору, перш за все треба визначити її місцеположення по відношенню до інших точок, координати яких відомі, за допомогою вимірювань деяких геометричних величин, лінійних або кутових. Оскільки електронними методами відстані вимірюються точніше, ніж кути (в тому значенні, що дозволяють побудувати більш точні геодезичні мережі), то природно вибрати для вимірювання лінійні, а не кутові величини.

Тоді просторове положення точки можна отримати *методом лінійної засічки*.

Пояснимо сказане, розглянувши спочатку для простоти ситуацію на площині. Нехай точки **A** і **B** (рис.2.1) з відомими координатами (геодезисти називають такі точки "твердими пунктами"), **P** - визначувана точка. Для знаходження її місцеположення на площині треба виміряти відстані від неї до точок **A** і **B**, тобто **AP** і **BP**. Тоді точка **P** виходить в перетині двох кіл з радіусами **AP** й **BP**. (Ці кола перетинаються в двох точках - друга точка лежить на малюнку знизу від лінії **AB**, але на практиці ми завжди можемо правильно вибрати потрібну точку).

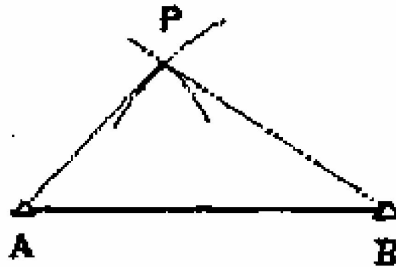


Рис.2.1. До визначення місцеположення точки на площині круговою засічкою.

Кола є ізолініями (так називаються лінії рівних значень виміряних величин) - лінії рівних відстаней від центру кола. Отже, в цьому випадку вимірювання двох відстаней від відомих точок до визначуваної дає положення останньої в перетині двох кругових ізоліній. Чим ближче до **90°** кут засічки, тим *вище точність*. Оскільки вимірюються відстані (дальності), такий метод визначення місцеположення називається *віддалемірним*.

Окрім кругової, можлива також *гіперболічна засічка*, для здійснення якої треба виміряти дві різниці відстаней від трьох твердих точок **A**, **B** і **C** до визначуваної: $(AP - BP)$ й $(CP - BP)$. Ці різниці дають дві гіперболи – одну з фокусами в **A** і **B**, іншу – з фокусами у **B** і **C**, і визначувана точка **P** виходить в перетині гіпербол. *Такий метод називають різнично – віддалемірним, або просто різницевим*.

При переході *від площини до простору ізолінії замінюються ізопверхнями, і їх повинно бути вже не дві, а три, тобто число вимірюваних геометричних параметрів – відстаней або різниць відстаней - повинне дорівнювати трьом.* При *віддалемірному методі* замість кіл одержуємо сфери, і визначувана в просторі точка виходить в перетині *трьох сферичних поверхонь*. Перетин двох сфер дає коло, а третя сферична поверхня перетинає це коло в двох точках, одна з яких і є визначуваною. По трьох вимірних відстанях D_i ($i = 1,2,3$) координати визначуваної точки X, Y, Z обчислюються з рішення трьох рівнянь (рівнянь сфери) вигляду:

$$D_i = \{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2\}^{1/2}, \quad (2.1)$$

де X, Y, Z – відомі координати точок, від яких вимірювалися відстані (центрів сфер).

2.1. Особливості супутникового позиціонування.

При застосуванні вищевикладених геометричних принципів визначення місцеположення до глобальних супутникових систем виникають деякі ***специфічні особливості***. Одна з них полягає в тому, що ***"твердими пунктами"*** – точками з відомими координатами – є ***супутники***, що рухаються, а ***визначувана точка*** (нерухома або рухома) знаходиться на Землі (***супутниковий приймач***). Для визначення положення (координат) ***наземної*** точки виконується одночасне вимірювання відстаней до супутників, а положення точки геометрично виходить в перетині сфер, як було пояснено вище, тобто використовується віддалемірний метод. Інша особливість полягає в тому, що із причин, які будуть розглянуті нижче, що вимірювані дальності виходять викривленими. ***Їх називають псевдодальностями.*** Щоб правильно обчислити координати приймача за вимірними псевдодальностями, їх треба виміряти ***не до трьох супутників***, а як мінімум до ***чотирьох***. На практиці, як правило, використовується більша кількість супутників для отримання надлишкових вимірювань, що дозволяють підвищити якість остаточного результату і оцінити його точність, але з принципової точки зору достатньо чотирьох супутників.

2.2. Системи координат при супутниковому позиціонуванні.

Вище указувалось, що супутники є об'єктами з відомими координатами. Звідки беруться ці координати і що вони собою представляють?

До складу супутникової системи входить **мережа наземних станцій стеження**, які в результаті вимірювання відстаней до супутника одержують дані про елементи орбіти супутника через рівновіддалені інтервали часу в межах деякої ділянки траєкторії руху. Обробка цих даних, які **називаються ефемеридною інформацією або просто ефемеридами супутника**, дозволяє обчислити для ряду моментів часу координати супутника **в геоцентричній** прямокутній системі координат.

Нагадаємо, що ця система визначається таким чином (рис.2.2):

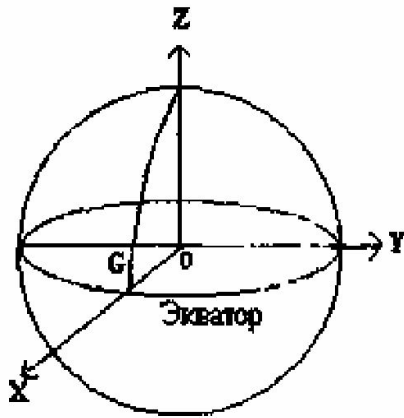


Рис. 2.2. Геоцентрична прямо -
кутна система координат

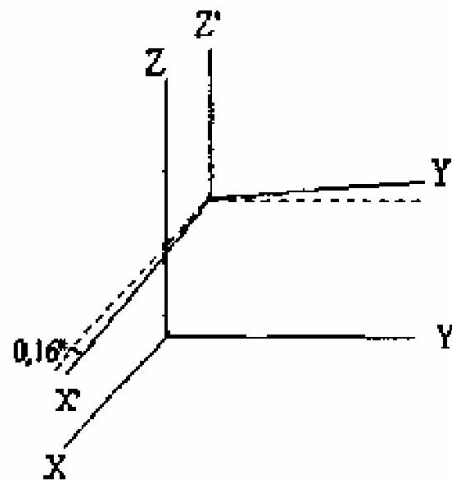


Рис. 2.3. Системи
WGS-84 і ПЗ-90

- початок координат **O** розташовано в центрі мас Землі;
- вісь **Z** направлена уздовж осі обертання Землі в точку середнього положення Північного полюса на епоху 1900 -1905 рр. ("Міжнародний умовний початок");
- вісь **X** лежить в площині земного екватора і направлена в точку перетину цієї площини з Грінвіцьким меридіаном **G**;
- вісь **Y** доповнює систему до правої.

GPS діє в геоцентричній системі координат, названих **WGS-84 (Word Geodetic System, 1984)**, а **ГЛОНАСС** – в геоцентричній системі **ПЗ-90 (Параметри Землі, 1990)**. Відзначимо, що у російському стандарті, прийнятому в 2001 році, **WGS** рекомендується замінювати російською **аббревіатурою МГС (Світова геодезична система)**, але ми тут вживатимемо позначення, прийняте у всьому світі.

Вказані системи координат близькі один до одного. Їх відмінність зводиться до невеликого розвороту систем щодо осі **Z** і зміщення початку координат по всіх трьох осях (рис.2.3). Величини зміщення: $\Delta X = 1,1 \text{ м}$; $\Delta Y = 0,3 \text{ м}$; $\Delta Z = 0,9 \text{ м}$.

Слід відзначити, що аббревіатурами **WGS-84** й **ПЗ-90** позначають не тільки системи координат, але і загальні земні еліпсоїди, три взаємно - перпендикулярні осі яких направлено по відповідних координатних осях (**X,Y,Z** для **WGS-84** і **X',Y',Z'** для **ПЗ-90**).

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ:

1. Що розуміється під терміном «супутникове позиціонування»?
2. На площині є дві тверді точки *A* і *B* і точка *P*, що визначається. Що необхідно зробити для визначення її місця положення?
3. Яка висота орбіт супутників в системі «Транзит»?
4. Куди спрямована вісь *Z* в геоцентричній прямокутній системі координат?
5. В якій площині лежать координати вісей *X* і *Y* в геоцентричній прямокутній системі координат?
6. Що являлось головним недоліком доплерівських супутникових систем?
7. Які координати найбільш зручні для супутникової геодезії?
8. Як одержуються точки віддалемірним методом при визначенні їх просторового положення?
9. В чому заключається особливість супутникового позиціонування?
10. Вкажіть назви глобальних супутникових систем, які працюють в системі координат ПЗ-90 та WGS-84?
11. Що називають ефемеридами супутника?
12. Приймач фіксує момент приходу сигналу з супутника за своїм часом. Як він дізнається про те, коли був відправлений сигнал з супутника?
13. За яких умов псевдодальність відмінна від геометричної дальності, виправленої поправкою за вплив атмосфери?

3. Беззапитний метод, шкали часу і стандарти частот.

В глобальних супутникових *системах при визначенні дальності до супутника* використовується, на відміну від наземних віддалемірних вимірювань, *метод з однократним проходженням сигналу уздовж траси.*

Такий метод, як вже наголошувалося раніше, *називають беззапитним.* Сигнал випромінюється з супутника і приймається наземним приймачем, і треба визначити час його розповсюдження τ .

Якщо він визначений, то *шукана відстань між супутником і приймачем*, яку прийнято позначати буквою ρ , можна обчислити за формулою:

$$\rho = v\tau, \quad (2.2)$$

де v - середня швидкість розповсюдження сигналу уздовж траси.

Нехай супутник випромінював сигнал у момент часу t_0 , а на приймач цей сигнал прийшов у момент часу $t_0 + \tau$, і треба визначити τ .

Це можна зробити, якщо на супутнику і в приймачі мати *годинники*, які будуть строго *синхронізовані* один з одним. З принципової точки зору справа йде таким чином. Сигнал супутника містить *часову мітку* (яку передає кожні декілька секунд). В часовій мітці "записаний" момент її відходу з супутника, визначений за годинником супутника. Приймач

захоплює сигнал супутника, "прочитує" часову мітку і фіксує момент її приходу по своєму годиннику. Різниця між моментами відходу мітки з супутника і приходу її на антену приймача є шуканим інтервалом часу τ , підлягаючий вимірюванню (як це робиться, розглянемо далі).

Але для цього, *підкреслимо*, годинник на супутнику і в приймачі повинен йти абсолютно синхронно. Насправді це не дотримується – хоча б тому що годинник на супутнику і в приймачі має різну точність ходу (докладніше про це буде сказано нижче). Тому між показниками цих годинників, відкаліброваних по одній і тій же шкалі часу, є в кожний момент ненульова різниця – *відносний відхід годинника* Δt_r (величина, обумовлена неоднаковістю відхилення годинника супутника і приймача щодо еталонного часу), яка викривляє результат визначення дальності.

Саме з цієї причини отриману з вимірювань дальність, як вже наголошувалося вище, називають *псевдодальністю*. Псевдодальність P пов'язана з геометричною дальністю ρ співвідношенням:

$$P = \rho + c\Delta t_{\text{атм}} + c\Delta t_r, \quad (2.3)$$

де $\Delta t_{\text{атм}}$ – затримка сигналу в атмосфері, c – швидкість світла у вакуумі.

Наявність додаткової невідомої величини Δt_r призводить до того, що при вимірюванні відстаней *до трьох* супутників ми одержуємо три рівняння вигляду (2.3) з чотирма невідомими (ρ_1, ρ_2, ρ_3 і Δt_r). Тому і потрібне вимірювання до четвертого супутника, яке додає *бракуюче* четверте рівняння. При цьому всі чотири вимірювання повинні виконуватися *одночасно* для забезпечення подібності величини Δt_r при цих вимірюваннях.

Відмітимо, що $(\rho + c\Delta t_{\text{атм}})$ в рівнянні (2.3) є *електромагнітною довжиною траси*, що дорівнює *добутку геометричної довжини ρ на показник заломлення атмосфери* (усереднений уздовж траси), або, що те ж, добутку часу розповсюдження τ на швидкість світла у вакуумі c .

3.1. Синхронізація годинника і різні шкали часу.

Величина Δt_r існує завжди, але необхідно, принаймні, якомога точніше синхронізувати годинники супутника і приймача. **Під цим мається на увазі прив'язка їх показників до еталонних шкал часу.** Для супутникової системи еталонною шкалою є так званий **системний час**. Він може не співпадати з існуючими еталонними шкалами часу, але повинен бути пов'язаний з ними цілком певним чином.

Розглянемо це більш детально.

Еталонами для вимірювання часу служать **періодичні процеси**, період яких постійний з великою точністю. Спочатку єдиним еталоном часу був період **добового обертання Землі**. Він визначався з двох послідовних спостережень проходження якого-небудь небесного світила через площину меридіана місця спостереження. Ще стародавні астрономи переконалися в тому, що **сонячна доба** виявилась на 4 хвилини **більше зоряної**. Це – наслідок руху Землі по орбіті (обертання Землі навкруги осі і її орбітальний рух відбуваються в одному напрямі).

Користуватися зоряним часом **незручно**, оскільки все наше життя пов'язане із зміною дня і ночі, тобто з сонячною добою. Проте тривалість сонячних днів змінюється протягом року унаслідок зміни швидкості руху Землі по орбіті. Тому безпосереднє визначення періоду обертання Землі виконується за спостереженням зірок, а для практичної цілі враховують різницю між зоряною і сонячною добою. Так виникло своєрідне становище, при якому ми користуємось сонячним часом, визначаючи його по зірках.

Оскільки істинні сонячні доби не залишаються однаковими протягом року, то в повсякденному житті за основну одиницю часу приймають **середню сонячну добу**, розраховану з припущення рівномірного руху Землі по орбіті. Час в такій добі називають **середнім часом**. Його значення міняється із зміною **географічної довготи місця**: коли в Москві 12 годин дня, то, скажімо, в Красноярську вже 16 годин, тобто виникає поняття **місцевого часу**. Місцевий середній час на Грінвічському меридіані називають **всесвітнім часом і позначають UT (Universal Time)**. Цей всесвітній час покладено в основу створення декількох астрономічних шкал часу.

Існує декілька модифікацій шкал *всесвітнього часу*. Із спостережень *добових рухів зірок* виходить всесвітній час **UT0**, не створюючи рівномірної шкали. Якщо врахувати *поправку за зміщення миттєвого полюса* щодо його середнього положення, одержуємо більш рівномірну шкалу **UT1**. Якщо врахувати, крім того, ще *сезонні варіації кутової швидкості обертання Землі*, одержуємо ще більш рівномірну шкалу **UT2**.

Нерівномірність добового обертання і орбітального руху Землі не дозволяють створити строго рівномірні шкали часу. Тому була введена ще одна шкала – *ефемеридний час, названий пізніше динамічним часом*.

Під ним розуміють аргумент в диференціальних рівняннях руху тіл Сонячної системи в гравітаційному полі. Цей рівномірно поточний час, що використовується при визначенні ефемерид супутників.

Будь-який час вимірюється за допомогою *годинника*. Годинник безперервно удосконалювався (маятниковий годинник, кварцовий годинник), і було встановлено, що тривалість доби непостійна – вона може змінюватися в обидві сторони на тисячні і навіть соті частки секунди.

До середини ХХ століття стало ясно, що точність кращого годинника перевершила точність нашого природного еталона часу - *доби*. Можливості астрономічних методів вимірювання часу виявилися вичерпаними.

3.2. Атомний час і стандарти частоти.

Принципово нові і більш точні методи вимірювання часу прийшли з *радіоспектроскопії і квантової електроніки*. Було встановлено, що кожний атом або молекула вибірково поглинають або випромінюють не тільки світло, але і радіохвилі певної довжини *хвилі λ* або *частоти f* , і, що саме головне, ці довжини хвиль і частоти характеризуються неперевершеною постійністю. Це дозволило *створити квантові стандарти частоти*, а, отже, і часу (пригадаємо, що частота – це величина, зворотна періоду, тобто часу одного коливання), і побудувати шкалу атомного часу ΔT , що задається конкретним атомним або молекулярним еталоном.

Ця шкала практично абсолютно рівномірна. *В ній одиницею вимірювання є атомна секунда – проміжок часу, протягом якого здійснюється 9 192 631 770 коливань, що відповідають резонансній частоті енергетичного переходу між рівнями надтонкої структури основного стану атома цезію – ^{133}Cs* . Іншими словами, за атомну секунду виконується кількість періодів коливань *цезієвого генератора*, чисельно рівних його частоті в герцах, яка складає **9 192 631 770 Гц ($\approx 9,2$ ГГц)**. Стабільність цієї частоти дуже висока (тобто відносна **нестабільність $\Delta f/f$** , де – Δf відхилення частоти, дуже мале). Окрім цезієвого, як стандарти частоти використовуються також *рубідієвий і водневий генератори*. Останній має найвищу стабільність. Дані про стабільність різних генераторів приведені в таблиці 2.1. Оскільки ці генератори грають роль високоточного годинника, в таблиці наведені також величини, що характеризують "точність ходу" цього годинника.

Таблиця 2.1 – Стабільність ходу генераторів частоти

Тип генератора	Нестабільність за добу	Відповідний відхід годинника
Рубідій	$5 \cdot 10^{-12}$	0,15 сек за 1000 років
Цезієвий	$3 \cdot 10^{-13}$	0,01 сек за 1000 років
Водневий	$2 \cdot 10^{-14}$	0,4 сек за мільйон літ

Існує **Міжнародний атомний час IAT (International Atomic Time)**, встановлюваний на основі показників атомного годинника в різних метрологічних установах відповідно до наведеного вище визначення атомної секунди.

Оскільки **шкали AT і UT** не узгоджуються між собою, введена проміжна шкала, яка названа **всесвітнім координованим часом UTC (Universal Time Coordinated)**. UTC – це атомний час, який корегується на **1с**, коли його розбіжність з **UT1 перевищує 0,5с**. Корекція проводиться в останню секунду **30 червня або 31 грудня**, або в обидві дати.

3.3. Системний час GPS і ГЛОНАСС.

Для системи **GPS** прийнята своя атомна шкала часу, яка позначається **GPST**. Час **GPST** був введений опівночі з **5 на 6 січень 1980 року**, і він на **19 секунд** менше часу **IAT**:

$$\text{GPST} = \text{IAT} - 19\text{с.} \quad (2.4)$$

Оскільки

$$\text{IAT} = \text{UTC} + 1\text{с } n, \quad (2.5)$$

де **n** – число секундних стрибків (корекцій), то зв'язок системного часу **GPST** зі всесвітнім координованим часом **UTC** встановлюється співвідношенням:

$$\text{GPST} = \text{UTC} - 19\text{с} + 1\text{с } n. \quad (2.6)$$

Час тече безперервно – він не піддається, на відміну від UTC, секундним скачкам корегувань, які компенсували б останній член в (2.6), і наявність цього члена призводить до того, що розбіжність GPST і UTC не залишається постійною, а міняється через корекції часу UTC.

Для системного часу $T_{\text{ГЛОНАСС}}$ не існує відмінності від UTC на ціле число секунд, оскільки воно корегується одночасно з корекціями шкали UTC, а існує постійне зміщення на **3 години**:

$$T_{\text{ГЛОНАСС}} = \text{UTC} + 03 \text{ г. } 00 \text{ хв. } 00 \text{ с.} \quad (2.6)$$

По ідеї, в системному часі повинні функціонувати всі підсистеми супутникової системи. Але на практиці це нереально, оскільки для цього в кожній підсистемі потрібно використовувати однотипні високоточні еталони часу і частоти. Такі еталони (типу вказаних в таблиці 2.1) встановлюються на супутниках і на центральній наземній станції, але мати подібні громіздкі і дорогі еталони в кожному приймачі не представляється можливим, і в приймачах ставлять *звичайний кварцовий годинник (генератори)* з нестабільністю порядку 10^{-8} . Платою за можливість мати в приймачі "низько стабільний компактний і дешевий годинник" служить поява в рівняннях додаткової невідомої величини $\Delta t_{\text{ч}}$, що призводить до необхідності *вимірювання псевдодальності* ще до одного (четвертого) супутника. Через неоднакову точність годинників *розрізняють бортову шкалу часу* (на супутнику) і шкалу часу *споживача* (приймача). Їх прив'язують до системної шкали шляхом врахування спеціально визначуваних поправок. *Поправки годинника супутника, одержувані внаслідок стеження за супутником з наземних станцій, закладають в пам'ять бортового комп'ютера і транслюють на приймач, а поправки годинника приймача визначають як невідомий параметр з обробки результатів спостережень.*

ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ:

- 1. Чи забезпечує світовий час UT створення рівномірної шкали часу?*
- 2. Який із стандартів частоти забезпечує саму високу стабільність?*
- 3. Чи являється світовий координований час UTC атомним часом?*
- 4. Яка відмінність між координованим часом UTC та системним часом GPS?*
- 5. Що таке електромагнітна довжина траси?*
- 6. В чому відмінність між координованим часом UTC та системним часом ГЛОНАСС?*
- 7. Чому дорівнює відхід частоти рубідієвого, цезієвого, водневого стандартів за 100 років?*
- 8. На скільки секунд системний час GPST став більше всесвітнього координованого часу UTC, якщо останнє було піддане корекції 21 раз?*
- 9. Яка висота орбіт супутників в системі «Транзит»?*

Використана література.

Мацько П.В. Геотроніка та картографія. Навчальний посібник. 2-е вид. випр. і доповн. \ П.В. Мацько, А.М. Голубєв \ Херсон, ХДУ, 2007. – 184 с.