



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ЗВ'ЯЗКУ

М. В. Рожновський

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання лабораторної роботи

«Дослідження принципів побудови супутникових радіонавігаційних систем та їх характеристик»

з дисципліни

«Супутникові системи зв'язку та навігації»

для студентів дистанційної та денної форми навчання

Одеса

«ДУІТЗ»

2024

Автори:

Рожновський М. В. кандидат технічних наук, доцент, доц. каф. радіоелектронних систем і технологій.

Рецензенти:

Ложковський А. Г., доктор технічних наук, професор, професор кафедри систем електронних комунікацій, Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, м. Одеса.

Лабунський О. А., начальник лабораторії цифрових систем передавання Державного підприємства, «Одеський науково-дослідний інститут зв'язку», м. Одеса.

*Рекомендовано до друку Навчально-методичною Радою
Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку
(протокол № 2 від 13.11 2024 р.)*

Рожновський М. В. Дослідження принципів побудови супутникових радіонавігаційних систем та їх характеристик: методичні рекомендації для виконання лабораторної роботи для студентів дистанційної та денної форми навчання з дисципліни «Супутникові системи зв'язку та навігації». Одеса: ДУІТЗ, 2024. 18 с.

Метою методичних рекомендацій є допомога студентам під час вивчення параметрів та характеристик супутникових радіонавігаційних систем, дослідження їх у межах лабораторного практикуму, представлення основних етапів проведення лабораторної роботи та особливостей оформлення результатів дослідження у звітному протоколі.

Методичні вказівки призначені для студентів дистанційної та денної форм навчання.

ЗМІСТ

1. Загальні вимоги до виконання лабораторної роботи.....	4
2. Лабораторна робота	4
2.1 Мета роботи	4
2.2 Ключові положення	4
2.3 Ключові питання	13
2.4 Домашнє завдання.....	14
2.5 Лабораторне завдання.....	14
2.6 Опис алгоритму і структури програмного комплексу	15
2.7 Зміст звіту	17
2.8 Рекомендована література.....	17
Додаток А. Вихідні дані для виконання досліджень	18

1. Загальні вимоги до виконання лабораторної роботи

Зміст роботи, що виконується має бути попередньо вивчений із залученням теоретичного матеріалу з лекційного, практичного курсу та відповідної літератури.

Лабораторна робота виконується бригадами у складі 2-3 студентів, кожен з яких виконує своє індивідуальне завдання.

Звіт складається кожним студентом і захищається в індивідуальному порядку.

Вихідні дані для виконання завдань досліджень обираються кожним студентом індивідуально відповідно до передостанньої (m) і останньої (n) цифр номера залікової книжки згідно з вихідними даними, наведеними в Додатку А.

2. Лабораторна робота

«Дослідження принципів побудови супутникових радіонавігаційних систем та їх характеристик»

2.1 Мета роботи

Метою лабораторної роботи є поглиблення теоретичних знань та оволодіння розрахунковими методиками аналізу характеристик супутникових радіонавігаційних систем.

2.2 Ключові положення

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Визначення

Відповідно до проекту Закону України «Про державне регулювання у сфері супутникової навігації» зазначимо такі основні визначення:

апаратура супутникової навігації — радіотехнічні пристрої, які безпосередньо здійснюють приймання та оброблення супутникової навігаційної інформації, що надходить від однієї або декількох глобальних навігаційних супутникових систем, та/або інформації, виробленої функціональними доповненнями таких систем.

Глобальні навігаційні супутникові системи — космічні радіонавігаційні системи, які формують і розповсюджують за допомогою радіонавігаційних сигналів супутникову навігаційну інформацію з метою надання користувачам можливості здійснення супутникових навігаційних визначень контрольованих матеріальних об'єктів глобально на поверхні Землі та в навколоземному просторі.

Державна система супутникової навігації — окреме функціональне доповнення, створене на базі мережі наземних станцій прийому супутникової навігаційної інформації, які перебувають у державній власності, для забезпечення виконання завдань щодо безпечного використання глобальних навігаційних су-

путникових систем у сферах діяльності, що передбачають державне регулювання.

Диференційна коригувальна інформація — дані, які містять виправлення до супутникової навігаційної інформації та можуть бути використані у диференційному режимі супутникових навігаційних визначень.

Засоби супутникової навігації — програмно-технічні комплекси, які створені на основі або з використанням апаратури супутникової навігації та забезпечують функціонування систем управління, контролю і забезпечення цільового використання об'єктів, на яких вони встановлені, супутниковою навігаційною інформацією та/або диференційною коригувальною інформацією.

Об'єкти супутникової навігації — будь-які матеріальні об'єкти, функціонування, положення або рух яких у просторі та часі досліджується, вимірюється, забезпечується, відстежується або скеровується за допомогою апаратури або засобів супутникової навігації, які встановлені на таких об'єктах.

Суб'єкти супутникової навігації — органи державної влади, органи місцевого самоврядування, інші юридичні, фізичні особи та фізичні особи — підприємці, які беруть участь в організації, управлінні, забезпеченні або безпосередньому виконанні дій щодо створення, виробництва, використання або застосування апаратури та засобів супутникової навігації, функціональних доповнень, функціональних навігаційних інформаційних систем, надання або отримання супутникових навігаційних інформаційних послуг.

Оператор державної системи супутникової навігації — юридична особа публічного права, якій передано в оперативне управління державну систему супутникової навігації.

Супутникові навігаційні визначення — визначення користувачами часу, місцеположення, швидкості та напрямку руху контрольованих матеріальних об'єктів із використанням апаратури супутникової навігації.

Супутникова навігаційна інформація — інформація, що передається з навігаційних супутників глобальних навігаційних супутникових систем.

Функціональне доповнення — супутникова або наземна інформаційно-телекомунікаційна система, створена на базі наземних станцій прийому супутникової навігаційної інформації або мереж таких станцій, які спільно виробляють диференційну коригувальну інформацію, а також дані щодо цілісності глобальних навігаційних супутникових систем.

Функціональні навігаційні інформаційні системи — інформаційно-телекомунікаційні системи, призначені для забезпечення збору, обробки, аналізу супутникової навігаційної інформації, зареєстрованої апаратурою супутникової навігації окремих користувачів глобальних навігаційних супутникових систем, та забезпечення обміну нею між такими системами в інтересах забезпечення просторово-часової координації їх функціональної діяльності.

Принципи побудови та склад супутникових радіонавігаційних систем

Супутникова радіонавігаційна система (СРНС) — це система, у якій роль опорних радіонавігаційних станцій (маяків) виконують штучні супутники Землі (ШСЗ), що забезпечені спеціальною передавальною навігаційною апаратурою. Основне призначення СРНС — високоточне визначення координат споживача, складових вектору швидкості і прив'язка до системної шкали часу. Крім основного призначення, СРНС дають змогу здійснювати високоточну взаємну синхронізацію стандартів частоти і часу на віддалених наземних об'єктах, взаємну геодезичну прив'язку тощо.

У СРНС, як правило, кількість споживачів не обмежується, оскільки апаратура споживача не передає запитних радіосигналів на навігаційні ШСЗ, а тільки приймає радіосигнали від навігаційних ШСЗ (пасивна автономна радіонавігація).

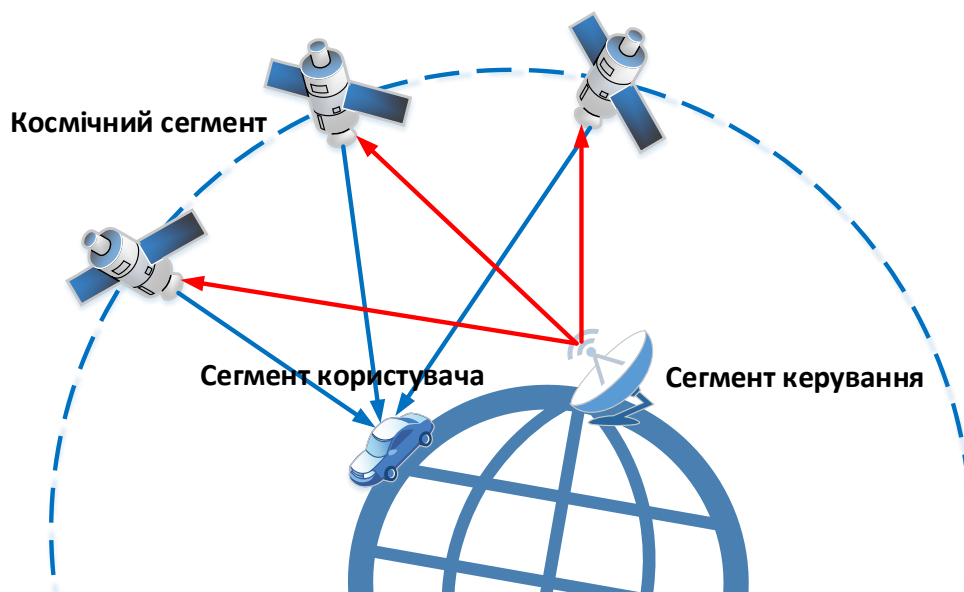


Рисунок 1 — Сегменти супутникових радіонавігаційних систем

СРНС містить три функціональні частини (ці частини називаються також сегментами) (див. рис. 1):

- 1) космічний сегмент або орбітальне угруповання ШСЗ;
- 2) сегмент управління (наземний командно-вимірювальний комплекс управління) орбітальним угрупованням навігаційних ШСЗ;
- 3) сегмент користувачів або апаратура користувачів системи.

Сегмент наземного комплексу управління СРНС виконує такі функції:

- ефемеридне* і частотно-часове забезпечення;
- радіотелеметричний моніторинг ШСЗ;
- командне і програмне радіоуправління ШСЗ.

* ефемериди — координати, обчислені для майбутніх фіксованих моментів часу на підставі прогнозування руху ШСЗ.

Ефемеридне і частотно-часове забезпечення супутників означає, що на землі визначаються параметри руху ШСЗ і прогножуються значення цих параметрів на заздалегідь визначений проміжок часу. Параметри та їхній прогноз закладаються в навігаційне повідомлення, що передається ШСЗ із навігаційним сигналом. Сюди ж входять частотно-часові поправки бортової шкали часу ШСЗ щодо системного часу.

Вимірювання і прогноз параметрів руху ШСЗ (радіотелеметричний моніторинг ШСЗ) здійснюють у Балістичному центрі СРНС за результатами траєкторних вимірів дальності до ШСЗ і його радіальної швидкості.

Для синхронізації шкал часу різних супутників із необхідною точністю на борту ШСЗ використовують стандарти частоти з відносною нестабільністю порядку 10^{-13} . На наземному комплексі управління використовують стандарт із відносною нестабільністю 10^{-14} . Крім того, до складу наземного комплексу управління СРНС входять засоби корекції шкал часу ШСЗ щодо еталонної шкали з похибкою 3...5 нс.

Навігаційною апаратурою споживача в сеансі радіонавігації одночасно приймаються радіосигнали не менш ніж від трьох радіовидимих навігаційних ШСЗ. Результати вимірювань та ефемериди, прийняті від кожного ШСЗ, дають змогу визначити (уточнити) три координати і три складові вектора швидкості споживача, а також визначити зміщення шкали часу апаратури споживача щодо бортової шкали часу ШСЗ.

Орбітальний рух ШСЗ

Орбіта ШСЗ без спотворень являє собою еліпс, один із фокусів якого збігається з центром маси Землі. Найближче розташована до Землі точка еліптичної орбіти називається *перигеєм*, а найбільш віддалена — *апогеєм*.

Положення ШСЗ на орбіті відносно Землі може бути визначено шістьма кеплерівськими елементами, два з яких характеризують форму орбіти, три — орієнтацію орбіти і напрямок руху ШСЗ, а шостий — положення супутника на орбіті. Цими шістьма елементами є:

- 1) велика піввісь орбіти;
- 2) ексцентриситет орбіти;
- 3) нахил площини орбіти відносно площини екватора;
- 4) довгота висхідного вузла орбіти;
- 5) аргумент перигея;
- 6) істинна аномалія.

На рис. 2 зображено еліптичну орбіту ШСЗ в абсолютній геоцентричній (екваторіальній) системі координат. Початок системи суміщено з центром Землі. Вісь OZ спрямована вздовж осі обертання Землі в бік північного полюса. Вісь OX лежить в екваторіальній площині і спрямована в точку весняного рівнодення. Вісь OY доповнює декартову праву систему координат.

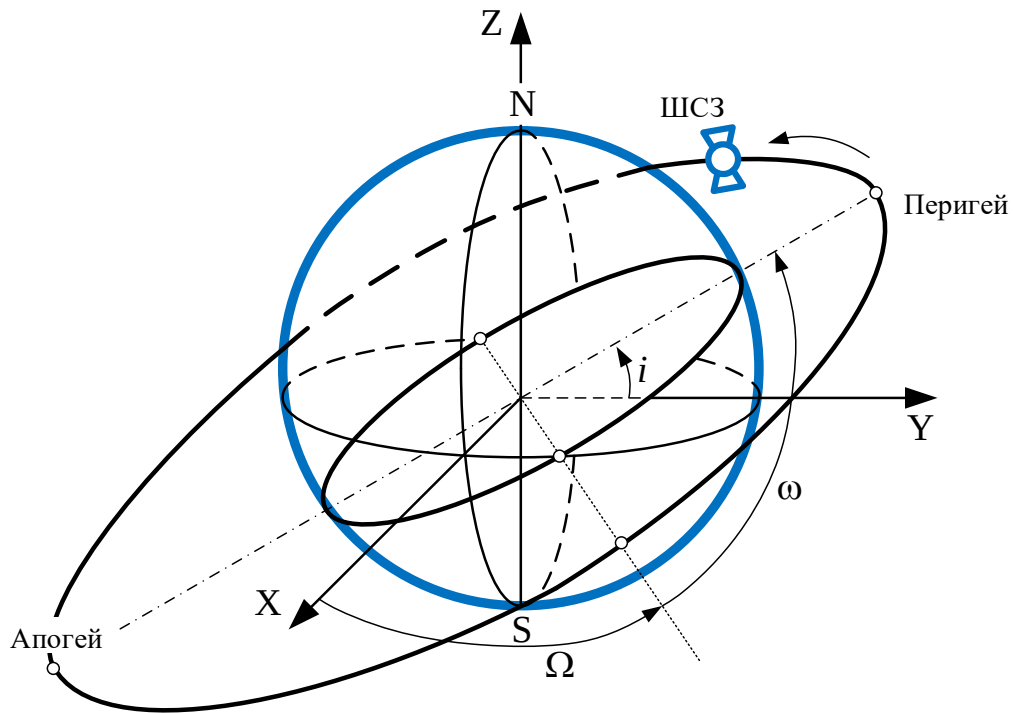


Рисунок 2 — Елементи орбіти ШСЗ у просторі

Велика піввісь орбіти a характеризує середнє віддалення рухомого ШСЗ від центру Землі. Велика вісь орбіти проходить через центр Землі і з'єднує точки апогею і перигею.

Ексцентриситет орбіти e — відношення відстані між фокусами до великої осі, $e = c/a$ характеризує форму орбіти. Для еліптичних орбіт ШСЗ $0 \leq e < 1$. При $e = 0$ орбіта є круговою, для якої висоти апогею та перигею рівні. По круговій орбіті ШСЗ рухається з постійною швидкістю. Під час руху еліптичною орбітою швидкість руху супутника змінюється, досягаючи максимуму в ділянці перигею і мінімуму — в ділянці апогею.

Нахил орбіти i — двограний кут між площиною орбіти і площиною екватора, що відлічується від площини екватора проти ходу годинникової стрілки для спостерігача, який перебуває в точці висхідного вузла. Висхідним вузлом називають точку, у якій ШСЗ переходить із південної півкулі в північну. Протилежна точка називається низхідним вузлом. За нахилом орбіти поділяють на екваторіальні ($i = 0$ град.), похилі ($0 \leq i \leq 90$ град.) і полярні ($i = 90$ град.).

Довгота висхідного вузла орбіти Ω характеризує поворот площини похилої або полярної орбіт навколо осі (OZ) обертання Землі. Довгота висхідного вузла — це кут, розташований в екваторіальній області, який відлічують від напрямку на точку весняного рівнодення (вісь OX) до лінії, що з'єднує висхідний низхідний вузли.

Аргумент перигею ω характеризує орієнтацію великої осі еліпса в площині орбіти. Аргумент перигею оцінюють як кутову відстань від висхідного вузла до перигею, відлічувану в площині орбіти в напрямку руху ШСЗ.

Справжня аномалія — поточне кутове положення ШСЗ на орбіті, що визначає положення ШСЗ у будь-який момент часу і відлічується від перигею.

Метод розрахунку координат користувача

Для складання навігаційних рівнянь зручно використовувати геоцентричну прямокутну систему координат, за якої центр системи суміщено з центром Землі (див. рис. 2). Координати ШСЗ позначимо $x_{ШСЗ}, y_{ШСЗ}, z_{ШСЗ}$, а координати споживача — x_K, y_K, z_K . Тоді відстань між ШСЗ і споживачем дорівнює (1)

$$D = \sqrt{(x_{ШСЗ} - x_K)^2 + (y_{ШСЗ} - y_K)^2 + (z_{ШСЗ} - z_K)^2}. \quad (1)$$

Якщо проведено вимірювання дальності до трьох супутників D_1, D_2, D_3 і координати всіх трьох ШСЗ $x_{ШСЗ}, y_{ШСЗ}, z_{ШСЗ}$ відомі, то отримаємо систему з трьох рівнянь (2), розв'язання якої дасть змогу знайти невідомі координати споживача x_K, y_K, z_K .

$$\begin{aligned} D_1 &= \sqrt{(x_{ШСЗ_1} - x_K)^2 + (y_{ШСЗ_1} - y_K)^2 + (z_{ШСЗ_1} - z_K)^2}, \\ D_2 &= \sqrt{(x_{ШСЗ_2} - x_K)^2 + (y_{ШСЗ_2} - y_K)^2 + (z_{ШСЗ_2} - z_K)^2}, \\ D_3 &= \sqrt{(x_{ШСЗ_3} - x_K)^2 + (y_{ШСЗ_3} - y_K)^2 + (z_{ШСЗ_3} - z_K)^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Для обчислення відстаней D_1, D_2, D_3 між ШСЗ і користувачем застосовуються різні далекомірні методи супутникової радіонавігації. Один із таких далекомірних методів ґрунтується на вимірюванні відстані D між передавачем ШСЗ (точкою випромінювання) і приймачем користувачем (точкою прийому) за часом затримки радіосигналу t_c при поширенні радіохвиль між цими точками $D = ct_c$, де c — швидкість поширення електромагнітних хвиль ($c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с).

Геометричним місцем точок, рівновіддалених від ШСЗ є сферична поверхня радіусом D . Цю поверхню називають поверхнею положення далекомірної системи. Лініями положення, що виходять у результаті перетину поверхні положення з площиною або сферою (наприклад, на поверхні Землі), будуть кола з центром у точці знаходження передавача (див. рис. 3). Тому далекомірні методи визначення координат називають круговими.

Місцезнаходження користувача (К) на поверхні Землі визначається як точка перетину ліній положення. Для двох ліній положення виникає неоднозначність відліку (точки К і К'), оскільки кола перетинаються у двох точках. Для виключення неоднозначності можуть бути використані результати вимірювання дальності до третього ШСЗ, додаткові засоби орієнтування або результати попередніх вимірювань. Для визначення місця розташування не на поверхні Землі, а в просторі необхідно проводити вимірювання мінімум за чотирма ШСЗ.

Однак виміряти справжню дальність між ШСЗ і споживачем можна тільки за умови точного поєднання їхніх шкал часу, тобто необхідно, щоб ШСЗ випромінювали радіосигнали синхронно, і користувачу був точно відомий момент

випромінювання радіосигналів. Синхронність випромінювання радіосигналів усіх ШСЗ забезпечується з високою точністю за командами з наземного комплексу управління відповідно до єдиної системної шкали часу.

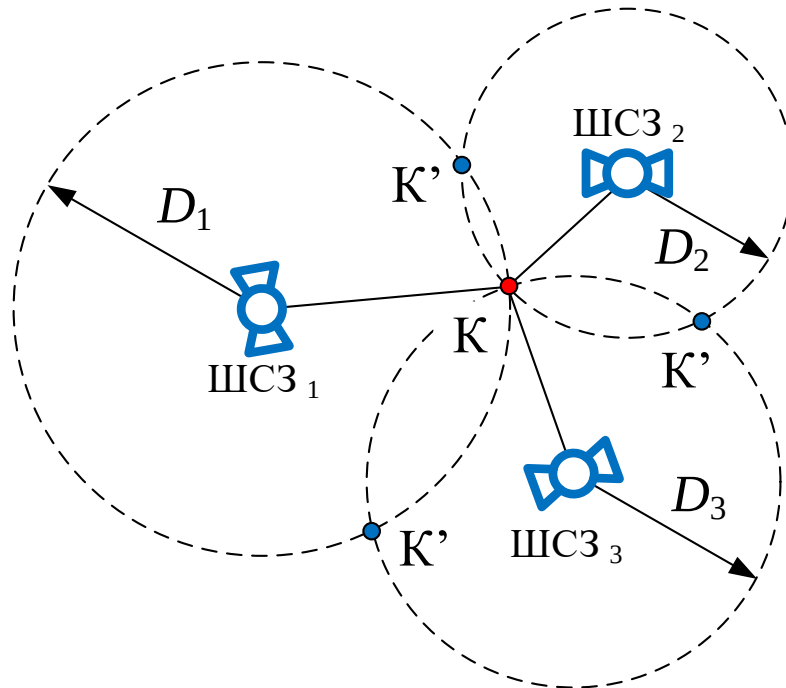


Рисунок 3 — Далекомірний метод визначення координат

Неможливість синхронізації апаратури користувача призводить до необхідності визначення місця розташування одночасно за 5...8 ШСЗ.

КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНИХ СРНС

Navstar-GPS

Це перша навігаційна система, яку ми використовуємо найчастіше. Коли думаємо про супутникову навігацію, ми зазвичай використовуємо термін GPS. Американська система спочатку називалася Navigation Signal Timing And Ranging Global Positioning System, або коротше NAVSTAR-GPS.

GPS знаходиться в руках збройних сил США, а точніше Космічних сил США. Перевірка правильної роботи всіх пристроїв здійснюється підрозділом Space Delta 8, який знаходиться на базі ВПС США Шрівер, розташованій поблизу Колорадо-Спрінгс, і працює як частина Головного управління GPS.

Цивільні програми є лише незначним доповненням до військових програм, для яких пріоритетом є компонування та найвища точність позиціонування. Цивільні користувачі отримують дещо усічену версію, але вона все ще достатньо хороша. Нам не потрібна точність у кілька десятків сантиметрів, щоб їздити на машині або бігати, але дедалі більша точність треба, наприклад, для навігації, у картографії, у сільському господарстві для моніторингу полів, транспортним компаніям для стеження за автотранспортом та в багатьох інших сферах.

Система GPS постійно змінюється, відбувається оптимізація роботи супутників. За час використання система зазнала змін і досі модернізується, час від часу в мережу вводяться супутники з більшими можливостями, а старі, що використовувалися раніше, з часом знищуються. Більшість з них згорає в атмосфері, а подеколи уламки затоплюють у Тихому океані.

Повна готовність системи GPS була досягнута в 1993 році, коли на орбіту було виведено необхідну кількість супутників. Але ще у 1983 році відбулося затвердження адміністрацією Рональда Рейгана дозволу на цивільне використання системи. Однак спочатку точність системи для цивільного населення була обмежена до 100 метрів.

Робота системи GPS з космосу додатково підтримується супутниками WAAS (Wide Area Augmentation System), що забезпечує необхідну корекцію даних для підвищення точності системи. Вони розташовані у Північній Америці (і частково в Південній Америці) і перебувають під опікою FAA (Федеральної авіаційної адміністрації). WAAS призначена для підтримки цивільних програм супутникової навігації.

ГЛОНАСС (GLONASS)

ГЛОНАСС — це абревіатура від Глобальна Навігаційна Супутникова Система, яка працює аналогічно американській GPS. ГЛОНАСС складається з 24 діючих супутників, розташованих приблизно на відстані 19 100 кілометрів над землею, а обліт супутника навколо Землі займає 11 годин 15 хвилин. Випробування системи розпочалися в 1982 році, тобто ще у СРСР. Вона створювалась, як відповідь на розробки американської GPS. В 1993 році було офіційно повідомлено про готовність до експлуатації системи ГЛОНАСС. У 1995 році росіяни зуміли вивести на орбіту ціле сузір'я з 24 супутників.

Але в наступний період часу система занепадала і у 2002 році лише 7 супутників все ще працювали. В рамках програми відновлення 2002-2011 років росіяни ввели в експлуатацію вдосконалені супутники ГЛОНАСС-К, а також супутні сучасні системи наземного управління.

На наступному етапі модернізації, у 2012-2020 роках, основна увага була приділена вдосконаленню властивостей позиціонування, навігації і синхронізації з метою підвищення безпеки держави та можливостей її оборонних та цивільних систем. В даний час триває робота над супутниками наступного покоління, відомими як ГЛОНАСС-К2.

BeiDou

Китай розпочав розробку супутникової навігаційної системи наприкінці XX століття. У 2000 році їм вдалося закрити перший етап розробок BDS-1, яка більш відома, як навігаційна супутникова система BeiDou-1. В рамках цього проекту було забезпечено системами позиціонування Китай та найближчі зарубіжні країни. Наступним кроком стала BDS-2 зі супутниковою мережею, що забезпечує покриття в Азійсько-Тихоокеанському регіоні. У 2020 році, як частина проекту BDS-3, система BeiDou почала діяти в усьому світі.

На даний час на орбіті знаходиться 35 супутників, а загалом програма вже здійснила 59 запусків з корисним навантаженням, що виводять на орбіту наступні покоління системи BeiDou. За запевненнями китайської влади, понад 400 агентств і 300 000 науковців та технічних працівників приймали участь у створенні програми BDS-3. Для підтримки останнього сузір'я супутників створено понад 40 наземних станцій для моніторингу коректної роботи системи. Глобальна доступність системи оцінюється у 99%, а для ключового Азійсько-Тихоокеанського регіону вона навіть більша, тобто працює там майже ідеально. Також китайцями було докладено багато зусиль для підвищення точності роботи системи.

BeiDou дозволяє передавати короткі текстові повідомлення розміром до 14 Кбіт (1000 китайських символів). Це значення може також включати фотографії або звукозаписи.

Galileo

На відміну від GPS, ГЛОНАСС та BeiDou — Galileo — це європейська система, що залишається в цивільних руках, і не належать якомусь конкретному уряду. Система була побудована лише з урахуванням цивільного ринку, і тому потреби населення остаточно впливають на її розвиток. Наразі програма Galileo завершила 28 запусків і вивела на орбіту 30 супутників. На даний час система використовує повне сузір'я супутників, але не всі пристрої завжди доступні, а деякі з них й досі чекають на свою чергу на складах.

Сегмент наземного управління розташований у двох центрах – Оберпфaffenхофені в Німеччині та Фучіно в Італії. Крім того, система включає всесвітню мережу сенсорів моніторингу, станцій вимірювання та передачі даних.

Через те, що орбіти всіх цих систем стають усе більш насиченими, супутники Galileo розташовані трохи вище, на висоті 23 222 кілометрів (найнижча – ГЛОНАСС, потім GPS, китайська BeiDou і на вершині піраміди Galileo). Потрібно приблизно 14 годин, щоб кожен супутник повністю облетів землю. Для більшості місць на землі постійно доступні від 6 до 8 супутників Galileo, що означає дуже високу точність, яка в більшості ситуацій вимірюється сантиметрами.

Galileo сумісна з системою GPS, що додатково дозволяє підвищити точність вимірювань, а її роботу також підтримує система EGNOS (Європейська служба геостационарної навігації), що складається з наземних компонентів та супутників, відповідальних за покращення роботи та точність супутникових навігаційних систем.

QZSS

Щоб забезпечити точність навігації на власній території, Японія створила невелике сузір'я супутників під назвою Квазі-Зенітна супутникова система (QZSS) або Мічібікі. У гірській або сильно урбанізованій місцевості одного GPS часто недостатньо через занадто велику кількість перешкод. 4 супутники, що працюють з листопада 2018 року, усувають цю проблему. Три з них знахо-

дяться в регіоні Азії та Океанії. У 2024 році досягнуто супутникового сузір'я, що складається з 7 одиниць. Це ще більше покращить загальну ефективність системи та зробить її незалежною від GPS. Таким чином, Японія забезпечить повну автономність на своїй території.

Незважаючи на невеликі розміри порівняно з іншими системами, QZSS відповідає всім очікуванням населення Японії, а також додатково підтримує судноплавство у всіх тих країнах, які розташовані на меридіанах, що проходять через територію Японії.

Крім того, Японія також має систему точної підтримки GPS/Michibiki, яка називається Satellite Augmentation System (MSAS). Вона складається з 2 супутників, які окрім іншого надають дані про погоду.

IRNSS

Індійська регіональна навігаційна супутникова система (IRNSS) ще може фігурувати під назвою NavIC (NAVigation with Indian Constellation). Система після досягнення всіх своїх можливостей буде схожою за своєю роботою на японську QZSS. На даний час на орбіті знаходиться 7 супутників, які забезпечують позиціонування в Індії та на відстані до 1500 кілометрів від кордонів країни. Робота NavIC підтримується системою GAGAN (геосинхронна доповнена навігаційна система з підтримкою GPS), яка складається з трьох додаткових супутників та наземної інфраструктури.

2.3 Ключові питання

Запитання для допуску до лабораторної роботи:

1. Поясніть призначення супутникових радіонавігаційних систем.
2. Які глобальні або регіональні системи супутникової радіонавігації вам відомі, їхня приналежність?
3. Перелічіть сегменти супутникових радіонавігаційних систем, поясніть їхні функції.
4. Дайте визначення поняття «Апаратура супутникової навігації».
5. Дайте визначення поняття «Глобальні навігаційні супутникові системи».
6. Дайте визначення поняття «Державна система супутникової навігації».
7. Дайте визначення поняття «Засоби супутникової навігації».
8. Дайте визначення поняття «Об'єкти супутникової навігації».
9. Дайте визначення поняття «Суб'єкти супутникової навігації».
10. Дайте визначення поняття «Супутникова навігаційна інформація».

Запитання до захисту лабораторної роботи:

1. Що розуміється під терміном «ефемериди»?
2. Що розуміється під термінами «апогей» і «перигей»?
3. Як визначається ексцентриситет орбіти і що він характеризує?
4. Як визначається нахил орбіти?

5. Що таке довгота висхідного вузла?
6. Як визначається аргумент перигею?
7. Що розуміється під істинною аномалією?
8. Поясніть геоцентричну інерційну систему координат.
9. Поясніть основні координати геофізичної системи координат.
10. Поясніть сферичні координати локальної наземної системи координат (похила дальність, азимут, кут місця).
11. Назвіть мінімальну кількість ШСЗ, необхідних для визначення місця розташування споживача на поверхні Землі та в навколоземному просторі.
12. Яку роль відіграє час у супутникових радіонавігаційних системах?
13. Поясніть суть далекомірного методу визначення координат споживача.

2.4 Домашнє завдання

1. Вивчити теоретичні положення (ключові положення), використовуючи методичні рекомендації, *конспект лекцій і рекомендовану літературу*.
2. Підготуйте відповіді на ключові запитання (запитання для допуску до лабораторної роботи).
3. Самостійно знайдіть інформацію і з'ясуйте, що таке Satellite-Based Augmentation System (SBAS) — Супутникова система доповнення?
4. Підготуйте макет звіту до лабораторного дослідження.
5. Вивчіть опис алгоритму та структуру програмного комплексу «GNSSView».

2.5 Лабораторне завдання

1. З'ясуйте у викладача назву супутникової радіонавігаційної системи, яку вам треба дослідити.
2. Запустіть програмний комплекс «GNSSView» та налаштуйте його для дослідження заданої викладачем супутникової радіонавігаційної системи.
3. Виберіть регіон відповідно до свого варіанту та проаналізуйте кратність супутникового сузір'я у всіх наявних в програмному комплексі містах вашого регіону (результати аналізу занесіть в таблицю).
4. Зафіксуйте одне з міст вашого регіону та проаналізуйте кратність супутникового сузір'я в залежності від часу (крок зміни часу 1 година, результати аналізу занесіть в таблицю).
5. Зафіксуйте одне з міст вашого регіону в конкретний час та проаналізуйте кратність супутникового сузір'я в залежності від кута огляду небосхилу (крок зміни кута 10 град., результати аналізу занесіть в таблицю). Зробіть висновок, які кути є критичними для визначення координат користувача на поверхні Землі та в навколоземному просторі.
6. Виберіть самостійно іншу СРНС і повторіть дослідження, що зазначені в пунктах 2 – 5 лабораторного завдання. У висновках порівняйте результати дослідження двох СРНС.

2.6 Опис алгоритму і структури програмного комплексу

Макет лабораторної роботи «Дослідження принципів побудови супутникових радіонавігаційних систем та їх характеристик» «GNSSView» можна відкрити за посиланням <https://qzss.go.jp/en/technical/gnssview/index.html>. На електронній сторінці програмного комплексу необхідно вибрати вашу операційну систему для запуску лабораторного макету (рис. 4).

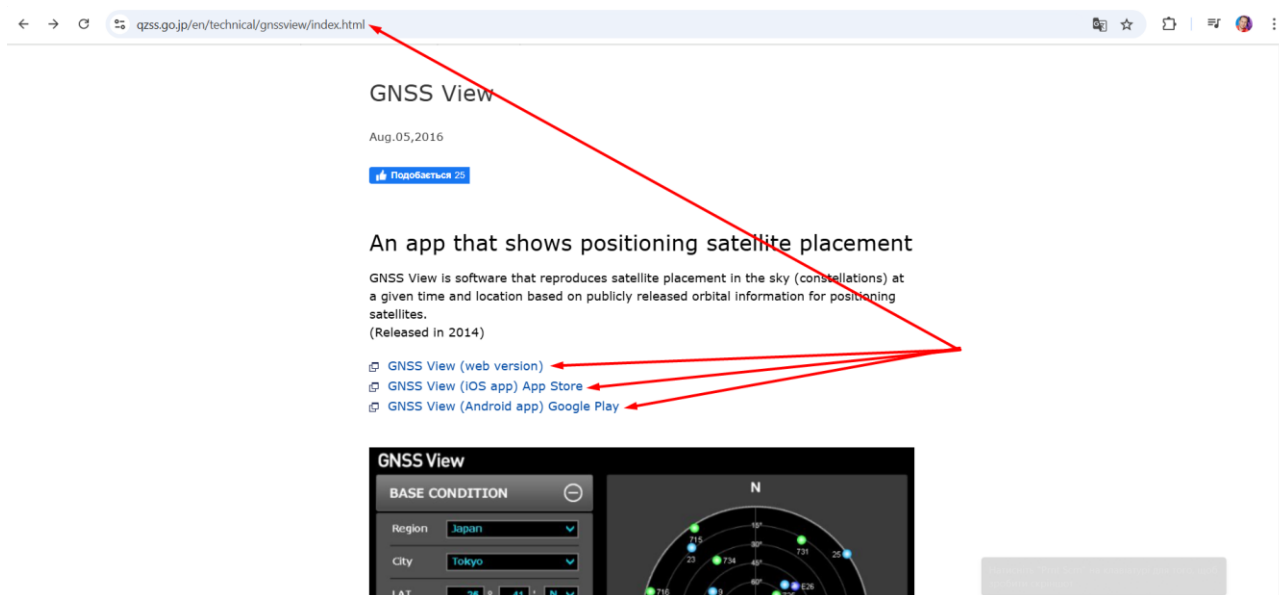


Рисунок 4 — Електронна сторінка програмного комплексу «GNSSView»

Для виконання лабораторного дослідження рекомендовано використовувати web-версію програмного комплексу.

Робочий інтерфейс програмного комплексу «GNSSView» показано на рис. 5. На рис. 5 BASE CONDITION (базові налаштування) — розкладка дозволяє задавати умови дослідження, де:

- Region (регіон) — дозволяє вибрати та встановити регіон проведення дослідження.
- City (місто) — дозволяє вибрати та встановити населений пункт проведення дослідження.
- LAT / LONG (широта / довгота) — дозволяє визначити географічні координати вибраного населеного пункту.
- Time (час) — розкладка, що дозволяє керувати часом проведення дослідження.
- Mask Angle (кут огляду небосхилу) — дозволяє змінювати кут огляду небосхилу.
- VIEW (перегляд) — кнопка, що перезапускає програмний комплекс після внесення змін у розкладки налаштування.
- Праворуч від розкладки BASE CONDITION маємо розкладку, де виводиться інформація, що підлягає детальному аналізу під час проведення дослідження.
- SELECT SATELLITE (вибрати супутник) — розкладка дозволяє вибрати СРНС для проведення досліджень.

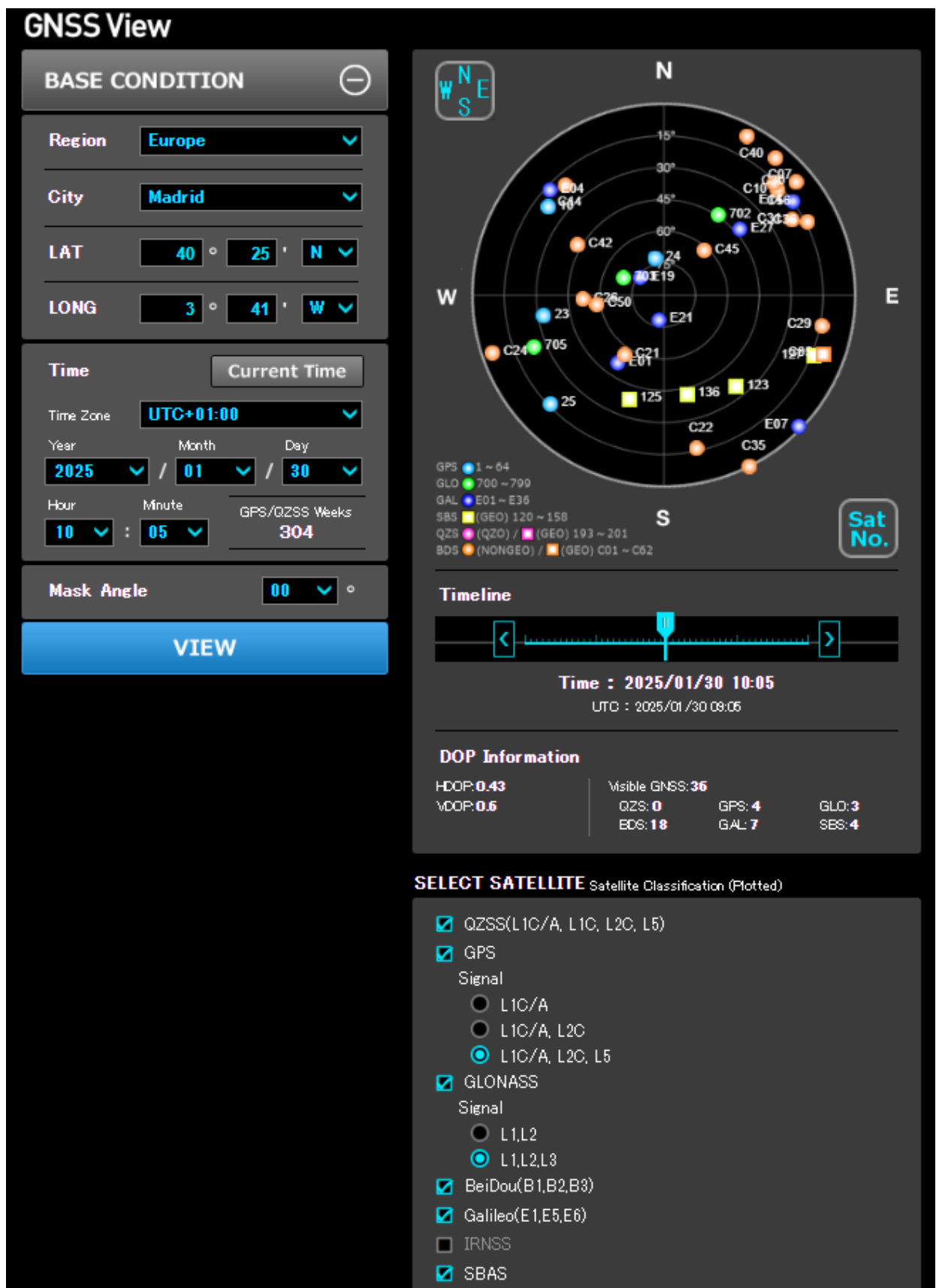


Рисунок 5 — Робочий інтерфейс програмного комплексу «GNSSView»

2.7 Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. Тему роботи.
2. Мету роботи.
3. Завдання на домашні дослідження та їхні результати.
4. Завдання на лабораторні дослідження.
5. Результати лабораторних досліджень.
6. Висновки.

Висновки по роботі мають містити як констатувальну частину, що відображає основні отримані результати, так і аналітичну, у якій проводиться порівняльний аналіз даних теоретичного й експериментального досліджень, а також пояснення отриманих результатів.

2.8 Рекомендована література

1. Проект Закону про державне регулювання у сфері супутникової навігації [режим доступу]: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=65772
2. Срібна І.М., Є.І. Махонін, Власенко Г.М., Кирпач Л.А. Супутникові системи зв'язку і навігації. Навчальний посібник. – К.: ДУТ, 2019. –123 с.
3. Що таке GPS: Типи систем позиціонування, як працює та яке майбутнє [режим доступу]: <https://root-nation.com/ua/articles-ua/tech-ua/ua-gps-types-history-future/>
4. Програмний комплекс «GNSSView» [режим доступу]: <https://qzss.go.jp/en/technical/gnssview/index.html>

Додаток А. Вихідні дані для виконання досліджень

Таблиця А.1 – Регіони Землі для проведення досліджень

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Регіон	Europe	Japan	East Asia	Southeast Asia	South Asia	Oceania	West Asia	North America	South America	Africa

m – передостання цифра номера залікової книжки;
 n – остання цифра номера залікової книжки.