

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ НАЗЕМНИХ СПОРУД І АЕРОДРОМІВ
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

_____Юрій ВЕЛИКОДСЬКИЙ

«___»_____20__р.

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 193 «ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ»

Тема: «Геопросторовий аналіз ГНСС-мереж під час дії воєнного стану на території України»

Виконавець: студент (ка) групи ГС – 412Б, Хуторна Анна Валентинівна.

Керівник: к.ф. – м.н., доц. кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою, Іщенко М. В.

Нормоконтролер: _____ підпис _____ Стецюк Михайло
Петрович

КИЇВ 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра аерокосмічної геодезії та землеустрою

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Землеустрій та кадастр» / «Геоінформаційні системи і технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач випускової кафедри

_____ **Юрій ВЕЛИКОДСЬКИЙ**

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи

_____ Хуторній Анні Валентинівні _____

- 1.Тема роботи «Геопросторовий аналіз ГНСС-мереж під час дії воєнного стану на території України» затверджена наказом ректора від «10» травня 2023__ р. № 677/ст.
2. Термін виконання роботи: з «29»травня 2023 року по «25»червня 2023року
- 3.Вихідні дані роботи: перелік станцій по регіонах.
4. Зміст пояснювальної записки: опис ГНСС-станцій та ГНСС-мережі; які є вимоги до ГНСС-станцій. Дослідити IGS та EPN мережі. Аналіз ГНСС-мережі в Україні та їх розвиток.
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: діяльність ГНСС-станцій; схема мережі ZAKPOS та мережі референсних станцій ZAKPOS та EPN; таблиці характеристики обладнання референтних станцій, точності обчислення координат станцій; карта розташувань станцій мережі ZAKPOS за 2017 та ГНСС-станцій станом на 2022 рік.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Дослідити теоретичні відомості про ГНСС-станції,	29.05.2023-01.06.2023.	
2	Дослідити вимоги та принципи ГНСС-станцій	02.06.2023 – 05.06.2023	
3	Визначити спостережу вальні величини ГНСС-станцій	06.06.2023 – 08.06.2023	
4	Дослідити мережі IGS та EPN	09.06.2023 – 12.06.2023	
5	Визначити основні засади та призначення міжнародних ГНСС-мереж	13.06.2023-16.06.2023	
6	Дослідити ГНСС-мережі в Україні	17.06.2023-19.06.2023	
7	Проаналізувати ГНСС-мережі в Україні, їх розвиток та вплив на агросферу України	20.06.2023-22.06.2023	
8	Підготувати доповідь та презентацію до захисту дипломної роботи	17.06.2023-25.06.2023	

7. Дата видачі завдання: « 29 » травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи: _____ Іщенко М.В.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____ Хуторна А.В.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: «Геопросторовий аналіз ГНСС-мереж під час дії воєнного стану на території України» містить: 75 сторінок, 5 рисунків, 3 таблиці, 65 використаних джерел.

Об'єктом дослідження є ГНСС-мережі на території України та світу.

Предметом дослідження є величини ГНСС-станцій, міжнародні ГНСС-мережі, включаючи IGS та EPN, їх засади та призначення.

Мета роботи: провести аналіз надійності комбінованих рішень для ГНСС-мереж в Україні.

Методи дослідження: порівняльний аналіз результатів та методи досліджень, що ґрунтуються на опрацюванні геодезичних GNSS-вимірів, які передбачають використання спеціальних програм для збору та обробки даних, які отримуються в результаті спостережень.

Результат бакалаврської роботи можуть бути використані для створення надійних та ефективних навігаційних систем, що забезпечують точність та доступність в будь-якому місці та в будь-який час. Це особливо важливо для розвитку ГНСС-мереж України та впровадження отриманих результатів в агросферу України.

РОЗВИТОК ГНСС-МЕРЕЖ УКРАЇНИ, НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ТОЧНІСТЬ, ДОСТУПНІСТЬ, ОБСЛУГОВУВАННЯ, ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 . ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ (ГНСС)-ОСОВНІ ЗАСАДИ.....	9
1.1. Теоретичні відомості про ГНСС-станції	9
1.2. Принцип роботи ГНСС мереж.....	13
1.3. Вимоги до ГНСС-станції.....	22
1.4. Спостережувані величини ГНСС-станцій	26
РОЗДІЛ 2. ГНСС-МЕРЕЖІ	29
2.1. Поняття ГНСС-мережі.....	29
2.2. IGS мережі.	32
2.3 EPN мережі	39
2.4. Основні засади та призначення міжнародних ГНСС-мереж.....	47
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ УКРАЇНСЬКИХ ГНСС-МЕРЕЖ.....	55
3.1. ГНСС-мережі в Україні	55
3.2 Розвиток українських ГНСС-мереж.....	56
3.3. Вплив розвитку ГНСС-мереж на агросферу	63
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ГНСС (GNSS) - глобальна навігаційна супутникова система;

EPN - Європейська перманентна ГНСС-мережа;

GPS – глобальна система позиціонування;

ГЛОНАСС - радіонавігаційна супутникова система, яка була розроблена на замовлення Міністерства оборони СРСР;

BeiDou – китайська навігаційна супутникова система;

QZSS – глобальна навігаційна супутникова система, розроблена японською агенцією;

LBS – технологія, що дозволяє визначити місцезнаходження об'єкта за допомогою електронної карти;

RTK – технологія, яка дозволяє знайти місцезнаходження в точності до сантиметрів за допомогою супутникових систем;

EVPA - окрема перманентна GPS-станція у місті Євпаторія;

CNIV - окрема перманентна GPS-станція у місті Чернігів;

UZHL - окрема перманентна GPS-станція у місті Ужгород;

IGS - міжнародна геодезична спільнота.

ВСТУП

Актуальність даного дослідження полягає в тому, що з постійним розвитком фундаментальних і прикладних досліджень в галузі геодезії, геофізики і геодинаміки, а також з високою точністю при розв'язанні фундаментальних і прикладних задач вимоги до точності визначення Також система відліку Землі постійно зростає.

Тому з метою ущільнення мережі та покращення доступності міжнародної наземної системи координат організовуються регіональні мережі та розраховуються регіональні комбіновані вузли. Це стало доступним із розвитком технологій ГНСС завдяки відносно низькій вартості їх застосування та доступності продуктів IGS. За допомогою національних і регіональних мереж ГНСС можна відстежувати локальні геофізичні та геодинамічні процеси, в тому числі визначати горизонтальні рухи земної кори з високою точністю.

Метою дипломної роботи є теоретичні та практичні дослідження підвищення надійності координатного забезпечення комбінованим рішенням координат діючих опорних станцій ГНСС України. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні завдання:

- дослідити теоретичні відомості про ГНСС-станції, принципи та вимоги до їх роботи;
- визначити спостережувані величини ГНСС-станцій;
- дослідити IGS мережі;
- дослідити EPN мережі;
- визначити основні засади та призначення міжнародних ГНСС-мереж;
- дослідити ГНСС-мережі в Україні, їх розвиток та вплив на агросферу України.

Об'єктом досліджень є мережа активних референтних GNSS-станції на території України.

Предметом досліджень є принципи роботи ГНСС-мереж та ГНСС-станцій в світі та Україні, ГНСС-мережі в агросфері України.

Методи досліджень. В дослідженні використано методи, що ґрунтуються на опрацюванні геодезичних GNSS-вимірів та порівняльному аналізі отриманих результатів.

Практичне значення роботи полягає у тому, що результати дослідження можуть бути використаними для розвитку ГНСС-мереж України та впровадження отриманих результатів в агросферу України.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків та списку використаної літератури. Загальний обсяг роботи складає 68 сторінок, кількість джерел у списку використаної літератури складає 65 найменувань.

РОЗДІЛ 1 . ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ (ГНСС)-ОСОВНІ ЗАСАДИ

1.1. Теоретичні відомості про ГНСС-станції

Супутникові пристрої впритул увійшли в наше життя. Відстеження руху, навігація суден і літаків, персональна навігація – це неповний перелік територій, де використовується супутникова навігація. Але не всі розуміють принцип роботи супутника, знають його види і частини. Розглянемо їх докладніше:

Глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС) — система земних і космічних приладів, призначених для визначення місця розташування і часу, а також визначення швидкості, напрямку та інших параметрів руху об'єкта.

В даний час близько 200 організацій, що займаються збором даних GNSS зі станцій по всьому світу, об'єднані в IGS (International GNSS Service), яка, в свою чергу, входить до складу Міжнародної геодезичної асоціації.

Мережа GNSS — це мережа базових станцій GNSS. Базові станції (не менше 5) стаціонарно встановлені в місцях з відомими координатами на відстані не більше 70 км одна від одної та підключені до мережі Інтернет. Працюючи безперервно, вони передають «необроблені» супутникові дані на центральний сервер, де встановлено спеціальне програмне забезпечення, яке може розраховувати RTK-поправки для мобільного приймача (RTK-ровера), який знімає зону мережі (зовнішній контур мережі GNSS). Щоб працювати в мережі та отримувати поправки RTK, марсохід повинен зателефонувати/підключитися до мережевого сервера GNSS (зазвичай через з'єднання GSM/GPRS). Після отримання поправки марсохід обчислює своє положення. Метою мережі GNSS є врахування та мінімізація впливу помилок

супутникових вимірювань, а також коригування даних про місцезнаходження ровера RTK.

Переваги мережі GNSS:

- для виконання зйомки достатнього одного приймача;
- немає необхідності в придбанні власної базової станції
- точність визначення положення ровера рівномірна і дуже висока (навіть на великих відстанях між базовими станціями мережі GNSS і ровером);
- висока надійність рішення і наявність корекції RTK (гарантія пошуку рішення навіть у разі збою зв'язку на одній станції).

«Глобальна навігаційна супутникова система» (GNSS) використовується для опису будь-якої супутникової групи, яка надає послуги позиціонування, навігації та часу (PNT) на глобальній або регіональній основі. У США послугою є глобальна система позиціонування (GPS). Він складається з сегмента простору, сегмента керування та сегмента користувача. Військово-повітряні сили США відповідають за підтримку та експлуатацію своїх космічних і контрольних сегментів. Еквівалентні системи можна знайти по всьому світу, включаючи російську ГЛОНАСС, європейську Galileo, китайську BDS і японську QZSS. Супутники в кожній системі надсилають і приймають радіочастотні (РЧ) передачі, що дозволяє визначати положення будь-якого приймача GNSS.

MGO містить точні геодезичні антени, які взаємодіють з різними супутниковими системами GNSS для отримання точних даних PNT для сайту MGO. Антени виконані в стилі choke ring, що дозволяє ефективно зменшувати багатопроменевий сигнал. Вони також покриті куполом, виготовленим зі спеціального пластику (а) для стійкості до ультрафіолетового випромінювання та (б) для забезпечення однорідної товщини та щільності, через які може відбуватися стабільна затримка поширення радіочастотного сигналу. Монументи з глибоким бурінням

(DDBM), на яких вони зазвичай встановлюються, простягаються на десятки футів під поверхню, щоб допомогти виміряти вплив тектонічного руху землі на положення, а не вплив навколишнього середовища, як-от вологість чи температура. Ці антени можна використовувати для вимірювання довгострокових позиційних змін у діапазоні до міліметра. Спочатку встановлений у 1993 році MDO1 є одним із оригінальних сайтів глобальної мережі NASA та має надзвичайно довгий часовий ряд позицій. MDO1 об'єднано з 5 додатковими системами GNSS, чотири з яких (MGO2-5) повністю функціонують і надсилають дані GPS, GLONASS, Beidou та Galileo GNSS до NASA CDDIS .

Постійна мережа GNSS EUREF складається з мережа безперервно діючих опорних станцій GNSS (глобальних навігаційних супутникових систем, таких як GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, ...), центри обробки даних, що забезпечують доступ до даних станції, аналітичні центри, які аналізують дані GNSS, центри продуктів або координатори, які створюють продукти EPN, і центральне бюро, яке відповідає за щоденний моніторинг і управління EPN.

Мережа працює під егідою IAG (Міжнародної асоціації геодезії) регіональної підкомісії референційної системи для Європи, EUREF . Усі внески до EPN здійснюються на добровільних засадах із залученням понад 100 європейських агентств/університетів. EPN діє згідно з чітко визначеними міжнародними стандартами та вказівками , які підписані її учасниками. Ці рекомендації гарантують довгострокову якість продукції EPN. Основною метою EPN є надання доступу до Європейської наземної системи відліку 89 (ETRS89), яка є стандартною точною системою координат GNSS у всій Європі. Підтримуваний EuroGeographics і схвалений INSPIRE (D2.8.I.1 Специфікація даних для систем відліку координат), ETRS89 формує основу для даних геолокації на європейській території, як на національному, так і на міжнародному рівнях.

EPN забезпечує доступ до ETRS89, роблячи загальнодоступними дані відстеження GNSS, а також точні позиції, швидкості та параметри тропосфери всіх станцій EPN. Базуючись на цих продуктах, EPN також сприяє моніторингу тектонічних деформацій у Європі та підтримує довгостроковий моніторинг клімату, чисельне прогнозування погоди та моніторинг коливань рівня моря.

Системи GNSS складаються з двох компонентів: космічного та наземного.

Без зайвих слів принцип роботи таких систем полягає у вимірюванні відстані від антени до супутника. Знаючи відстань кількох супутників, точно відомо їх положення, навігаційні системи обчислюють місце розташування об'єкта за допомогою стандартних геометричних побудов.

Основні діючі системи GNSS: GPS (США), ГЛОНАСС (Росія), GALILEO (Європейський Союз), BeiDou (Китай), QZSS (Японія).

Поправка передається з геопросторових супутників (система WAAS, EGNOS, MSAS тощо), або з наземних станцій.

Найвища точність досягається при використанні корекції RTK для базових станцій. З 2011 року в Україні працює сайт System.NET.

Крім підвищення точності, мережа System.NET дозволяє істотно розширити зону позиціонування: визначення місцезнаходження стало можливим в зоні покриття мобільної мережі, де приймається сигнал GSM / GPRS, а також місця з можливістю підключення до Інтернету за допомогою інших каналів зв'язку.

Також стало можливим: видалення типових помилок з вихідних точок; підтримка єдиної глобальної системи координації; можливість автоматичної роботи з будь-якою необхідною системою координації; зниження вартості обладнання; точний контроль автоматично під час вимірювань; підвищення

продуктивності праці; користування додатковими сервісами - постобробка необроблених даних RINEX, використання розробленої технічної бази для запобігання кінематичних вимірювань (Virtual Reference Center), автоматична обробка даних і точна оцінка веб-сервера (AutoPP, QC) тощо.

1.2. Принцип роботи ГНСС мереж

Загальні елементи супутникової системи навігації:

- Орбітальна група -

Система космічних апаратів у вигляді мережі навігаційних супутників

- Наземна система керування та контролю -

Блоки вимірювання положення супутників та передачі на них отриманої інформації для корегування інформації про орбіти

- Приймальне обладнання

"супутникові навігатори", що використовуються для визначення місцезнаходження

- Опціонально-інформаційна радіосистема для передачі користувачам поправок, що дозволяє значно підвищити точність визначення координат.

Принцип дії супутникових систем навігації заснований на вимірюванні відстані від антени приймача на об'єкті до навігаційних супутників, місцезнаходження яких відоме з великою точністю. Таблиця положень супутників («альманах») є в кожному приймачі супутникового сигналу до початку вимірювань. Зазвичай приймач зберігає альманах у пам'яті з часу останнього ввімкнення. Кожний супутник передає в своєму сигналі весь альманах. Таким чином, знаючи відстані до декількох супутників системи, за

допомогою звичайних геометричних побудов на основі альманаху вираховується положення об'єкта в просторі.

Метод вимірювання відстані від супутника до антени приймача заснований на визначенні швидкості поширення радіохвиль. Для реалізації можливості вимірювання часу поширюваного радіосигналу кожен супутник навігаційної системи випромінює сигнали точного часу, використовуючи синхронізований з системним часом атомний годинник. При роботі супутникового приймача його годинник синхронізується з системним часом, і при подальшому прийомі сигналів супутників обчислюється затримка між часом випромінювання, що міститься в самому сигналі, і часом прийому сигналу антеною приймача. Маючи дану інформацію, навігаційний приймач вираховує координати антени. Решта параметрів руху (швидкість, напрямок, пройдена відстань) обчислюється на основі вимірювання часу, який об'єкт витратив на переміщення між двома або більше точками з координатами, визначеними за попередніми обчисленнями.

Найвідоміші на сьогодні системи супутникової навігації:

- GPS
- ГЛОНАСС
- Galileo
- Бейдоу

Всі вони працюють за схожим принципом: для середнього за точністю позиціонування в просторі антена приймача має отримувати сигнал мінімум від 4 супутників системи (або від 3, якщо 1 з координат відома, наприклад, висота над рівнем моря судна в океані – 0 м), але є певні відмінності. Наприклад, кожна супутникова навігаційна система визначає місцезнаходження в «своїй» системі координат, кожна з систем супутникової навігації належить різним країнам чи угрупованням країн. Але ці чинники не є важливими для користувачів,

набагато важливішими відмінностями є нахил та кількість орбіт, на яких знаходяться супутники, а також їх кількість, період обертання навколо Землі, оскільки саме ці параметри найбільше впливають на точність позиціонування.

ГЛОНАСС

ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) - російська радіонавігаційна супутникова система, розроблена на замовлення Міністерства оборони СРСР.

Основою системи є 24 активні супутники, що обертаються на орбіті середньою висотою 19 100 км над поверхнею Землі з нахилом $64,8^\circ$ та періодом близько 11 годин в трьох орбітальних площинах із 8 рівномірно розподіленими супутниками в кожній, а також резервні апарати, призначення яких – в будь-який момент часу замінити супутники, що за певних причин вийшли з ладу. Значення періоду дозволило створити стійку орбітальну систему, що не потребує для своєї підтримки корегувальних імпульсів. Сигнали передаються з направленістю в 38° з використанням правої кругової поляризації, із потужністю 316—500 Вт (EIRP 25-27 dBW). Супутники системи ГЛОНАСС стало передають радіовипромінювання двох типів: навігаційний сигнал діапазону L1 (1,6 ГГц) та навігаційний сигнал високої точності діапазонів L2 и L3 (1,2 ГГц). Наземний комплекс керування ГЛОНАСС складається з центру керування системою та контрольних станцій. Орбіта супутників ГЛОНАСС надає можливість застосування навігаційної системи на високих широтах (північний і південний полярний регіон), де сигнал GPS приймається погано.

На сьогоднішній день похибки навігаційних показників ГЛОНАСС по довготі і широті становлять 3—6 м при використанні в середньому 7—8 супутників (залежно від точки прийому сигналів). Після запланованого раніше виведення на орбіту апаратів для корегування сигналу очікується підвищення точності позиціонування до 1 м.

ГАЛІЛЕО

Галілео – система супутникової навігації Європейського Союзу та Європейського космічного агентства.

Система почала діяти з 15 грудня 2016 року в обмеженому режимі. Повністю розгорнута система складатиметься з 27 активних та 3 запасних супутників, що обертатимуться з висотою 23 222 км над поверхнею Землі з нахилом 56° та періодом близько 14 годин в трьох орбітальних площинах із 9 активними та 1 резервним супутником в кожній. Наземна інфраструктура включає два (в майбутньому – 3) центри управління й глобальну мережу передавальних і приймальних станцій. Після завершення проекту, яке заплановано на 2020 рік, навігаційні сигнали Галілео забезпечать хороше покриття навіть на широтах до 75° північної широти, а точність визначення місцезнаходження об'єкта сягатиме 1 м.

Також у майбутньому стане доступною додаткова функція - супутники Галілео передаватимуть сигнали тривоги від користувачів до регіональних рятувально-координаційних центрів. У відповідь система надсилатиме сигнал користувачам, повідомляючи, що аварійну ситуацію виявлено, що вважається значним оновленням у порівнянні з наявною системою, яка не забезпечує зворотного зв'язку.

Бейдоу

Бейдоу - китайська супутникова система навігації. Планується, що космічний сегмент навігаційної супутникової системи Бейдоу буде складатися з орбітального угруповання змішаного типу, що складатиметься з супутників на орбітах 3 типів.

Система Бейдоу почала функціонувати ще в 2003 році, була запущена в комерційну експлуатацію 27 грудня 2012 як регіональна система позиціонування (лише для азійсько-тихоокеанського регіону), при цьому супутникове угруповання становило 16 супутників. На сьогодні межі

надання послуг позиціонування системою Бейдоу продовжують розширяться. Точність позиціонування системи для цивільного населення становить менше 10 метрів, точність вимірювання швидкості менше 0,2 метра в секунду. Планується, що до 2020 року орбітальне угруповання Бейдоу буде складатися з 35 космічних апаратів, з яких 5 Beidou-G перебуватимуть на геостационарній орбіті (точки 58,75 ° сх.д., 80 ° сх.д., 110,5 ° сх.д., 140 ° сх.д. і 160 ° сх.д.), 27 Beidou-M - на середній круговій орбіті (висота 21 500 км, період обертання 12 год 53 хв, нахил 55 °) і 3 Beidou-IGSO - на геосинхронних похилих високих орбітах (в трьох площинах, висотою орбіти 35 786 км, нахилом 55 °), підсупутникові точки яких рухаються на поверхні Землі по одній «трасі» у формі вісімки, вісь симетрії якої знаходиться на довготі 118° східної довготи. Це забезпечить перехід системи Бейдоу від статусу регіональної до глобальної системи супутникової навігації.

GPS (NAVSTAR)

NAVSTAR GPS (Global Positioning System Navigation Satellite Time and Ranging) — високоточна супутникова система навігації, яка дозволяє визначити місцезнаходження об'єкта, його широту, довготу та висоту над рівнем моря, а також напрямок і швидкість його руху. Комплекс NAVSTAR розроблений, утілений і належить Міністерству оборони США.

Станом на сьогодні основою системи є 32 супутники (активні та резервні), що працюють у єдиній мережі й обертаються на шести кругових орбітах, розташованих під кутом 60° одна до одної. На кожній орбіті розміщено по 4 активні супутники, висота орбіт приблизно дорівнює 20 200 км, нахил орбіти - 55°, а період обертання кожного супутника навколо землі дорівнює 12 годинам. Таким чином, із будь-якої точки земної поверхні зазвичай одночасно видно від чотирьох до дванадцяти таких супутників. Кожні 30 секунд супутник передає навігаційні повідомлення, в яких містяться дані про положення супутника в певний момент часу, дані про

якість сигналу, похибку супутникового годинника та коефіцієнти моделі іоносфери. Передача сигналу з супутника відбувається на частоті 1575,42 МГц.

Станції керування розміщені в Колорадо-Спрінгз, Дієго-Гарсія, на острові Вознесіння, атолі Кваджелейн і на Гаваях. Вся інформація, що проходить через ці станції, записується ними та передається на головну станцію на авіабазі в Шрівері (штат Колорадо).

Звичайна точність сучасних GPS-приймачів в горизонтальній площині становить 5-10 метрів, та 10-20 метрів за висотою. На території США і Канади є станції WAAS, в Європі діють станції EGNOS, які передають поправки для диференційного режиму, що дозволяє збільшити точність обчислення положення до 1-2 метрів. При використанні більш складного додаткового обладнання точність визначення координат можна довести до 10 см. Проте, невисокий нахил орбіт супутників GPS (приблизно 55°) значно погіршує точність у приполярних регіонах Землі, оскільки супутники GPS невисоко піднімаються над горизонтом.

Проблеми систем супутникової навігації

Недоліком усіх систем супутникової навігації є те, що за певних умов сигнал від супутників може надходити до приймача з затримкою або не надходити взагалі. Оскільки робоча частота GPS лежить у дециметровому діапазоні радіохвиль, рівень прийому сигналу супутників приймачем може значно погіршитись під щільним листям дерев, через велику хмарність. Нормальному прийому сигналів GPS можуть завадити перешкоди від багатьох наземних радіоджерел, а також від магнітних бур. Перешкодами для проходження сигналу також можуть бути: щільна забудова міста (велика кількість хмарочосів), товсті бетонні чи залізобетонні стіни, розміщення приймача у підземному приміщенні. Щоб мінімізувати цей недолік системи супутникової навігації, рекомендовано розміщувати приймач на максимально

відкритій місцевості, або, якщо це неможливо, використовувати виносні антени для покращення передачі сигналів.

Перед вибором пристроїв супутникової навігації варто з'ясувати, які системи супутникової навігації краще функціонують у Вашій місцевості. Наприклад, у полярних регіонах GPS(NAVSTAR) має малу точність, порівняно з ГЛОНАСС (причиною є різний нахил орбіт супутників), хоча загалом GPS забезпечує більш точне визначення місцезнаходження.

Також проблемою GPS (та деяких інших систем супутникової навігації) вважається скидання номеру тижня (**WNRO** - week number roll over), адже це може повпливати на роботу пристроїв супутникової навігації. У складі навігаційних радіосигналів, що передаються з супутників системи до приймача, міститься номер тижня, максимальне значення якого – 1023. Коли номер тижня досягає значення 1023, лічильник скидає відлік номеру тижня до 0 (приблизно кожні 20 років). Не підготовані до даної події пристрої можуть почати неправильно вираховувати час та дату, що може повпливати на функції пристрою, які залежать від даних параметрів. Для мінімізування впливу **WNRO** на Ваші пристрої супутникової навігації, необхідно вчасно оновлювати ПЗ та, при виникненні питань, звертатися до виробника. Хороша новина полягає в тому, що з модернізацією GPS (та інших ССН) максимальне значення номеру тижня збільшиться (спеціалісти GPS хочуть збільшити кількість біт лічильника), і про **WNRO** можна буде не турбуватись значно довше.

GPS, RTK, A-GPS та LBS

Якщо пристрій, що використовує GPS, перебуває в неактивному стані протягом тривалого часу (більше кількох годин), виникає проблема зі швидкістю визначення місцезнаходження при переведенні пристрою в активний стан. Це пов'язано з тим, що пристрою необхідний час, щоб визначити, з якими супутниками йому потрібно зв'язатись, отримати від них сигнали та визначити своє місцезнаходження. Тобто, власнику пристрою

доведеться очікувати від 45 секунд (якщо пристрій не був активним кілька годин) до майже 15 хв (якщо пристрій не був активним кілька днів) та, можливо, навіть довше.

Для того щоб вплив цього недоліку був мінімальним, виробники, в тому числі і ТМ ОКО використовують технології A-GPS або (та) LBS, а також RTK. Як вони працюють та чим відрізняються?

A-GPS

A-GPS (Assisted GPS) - технологія, яка прискорює «холодний старт» GPS-приймача. Прискорення відбувається завдяки інформації, отриманій через альтернативні канали зв'язку. Коли GPS-приймач перейде із неактивного стану в активний, йому потрібно буде спочатку отримати дані про поточне розташування супутників, а потім вже визначати своє місцезнаходження. Це потребує певних затрат часу. A-GPS допомагає прискорити визначення координат, підключаючись через інтернет до веб-сервера (так званого Assisted-сервера), який вже містить актуальну інформацію про всі супутники. Ця інформація передається через GPRS чи інші типи зв'язку (наприклад, Wi-Fi) на приймач. Таким чином, технологія A-GPS надає пристрою інформацію про розташування потрібних супутників, пришвидшуючи «холодний старт», підвищуючи чутливість приймача та зменшуючи енергоспоживання пристрою.

Проте, дана технологія не може функціонувати поза зоною покриття стільникового зв'язку. Крім того, за A-GPS доводиться платити відповідно до встановленого вашим провайдером тарифу, оскільки вона споживає інтернет-трафік (хоч і незначний).

LBS

LBS (Location-based service) – технологія, що надає змогу визначити місцезнаходження об'єкта за електронною картою LBS-системи, на якій зазначене розташування базових станцій операторів стільникового зв'язку.

Точність визначення місцезнаходження залежить від щільності розташування базових станцій на заданій місцевості. Міста зазвичай знаходяться в зоні покриття відразу кількох базових станцій, місцезнаходження визначається по точці перетину радіусів покриття кожної із станцій, тому точність визначення місцезнаходження в населених пунктах за допомогою LBS може сягати 50 метрів. За межами населених пунктів, точність визначення може знаходитись в межах від кількох сотень метрів до кількох кілометрів.

Технологія LBS використовує статичну базу даних і дозволяє отримати уявлення про розташування об'єкта, але фактично не може надати точні координати, крім того, не дає ніякої додаткової інформації (наприклад, висота над рівнем моря об'єкта, швидкість переміщення). Однак LBS може надати приблизне місцезнаходження об'єкта тоді, коли GPS не функціонує або функціонує з перебоями (наприклад, у місті з щільним забудовуванням хмарочосами).

RTK

RTK (Real Time Kinematic) - сукупність методів для визначення місцезнаходження в просторі з сантиметровою точністю за допомогою супутникової навігації сумісно з поправками з базових станцій.

Як вже зазначалося вище, за певних умов (хмарність, велика кількість дерев, електро-магнітні перешкоди, тощо) радіосигнали з супутників частково спотворюються, що є причиною погіршення точності позиціонування. Для того, щоб підвищити точність, була винайдена технологія RTK.

Принцип роботи технології RTK

Для отримання поправок використовується базова станція, координати якої мають бути відомими заздалегідь з великою точністю. Базова станція приймає сигнали від супутників, за допомогою спеціалізованого ПЗ вираховується похибка визначення місцезнаходження станції, формуються поправки. Вони надсилаються на ровер (приймач), який в свою чергу

приймає сигнали від тих самих супутників, що й базова станція. Ровер обробляє сигнали супутників та, використовуючи поправки з базової станції, визначає своє місцезнаходження з точністю до 1-2 см в режимі реального часу. Для передачі поправок використовуються радіомодеми, інтернет, тощо.

Також можливе використання мережі базових станцій, що знаходяться на відстані до 70 км одна від одної. В такому випадку кожна базова станція передає отримані з одних і тих же супутників дані про своє місцезнаходження на сервер, який вже формує поправки і надсилає на ровер. Він поєднує дані з сервера та сигнали супутників та вираховує власне місцезнаходження. Таким чином, зникає ризик виникнення неточностей у випадку виходу з ладу однієї зі станцій, зберігається висока точність визначення координат, навіть якщо ровер знаходиться на великій відстані від базової станції.

Для отримання найбільш точних даних, необхідно щоб ровер та базові станції отримували сигнали принаймні з 5 супутників та знаходились на відстані до 30 км одне від одного.

1.3. Вимоги до ГНСС-станції

Будучи глобальним за масштабом, GNSS принципово відрізняється від традиційних навігаційних засобів (NAVAID). Він має потенціал для підтримки всіх етапів польоту, забезпечуючи безперебійне глобальне навігаційне наведення. Це могло б усунути потребу в різноманітних наземних і бортових системах, які були розроблені відповідно до конкретних вимог для певних етапів польоту. Перші схвалення на використання GNSS надійшли в 1993 році, підтримуючи операції на маршруті (внутрішні та океанські), термінальні операції та операції з неточним заходженням на посадку (NPA). Схвалення, засновані на ABAS, супроводжувалися

експлуатаційними обмеженнями, але принесли значні переваги операторам повітряних суден. GNSS забезпечує точне наведення у віддалених та океанських районах, де неможливо забезпечити надійне та точне традиційне наведення NAVAID, або занадто дорого або неможливо. Багато держав використовують GNSS, щоб надавати кращі послуги операторам повітряних суден, водночас уникаючи витрат на використання традиційних NAVAID. Навіть у районах, які добре обслуговуються традиційними системами NAVAID, GNSS підтримує зональну навігацію, дозволяючи літакам слідувати більш ефективним траєкторіям польоту. GNSS робить цю можливість економічно доступною для всіх операторів літаків. Це дозволяє державам проектувати повітряний простір на маршруті та терміналі з максимальною місткістю та мінімальними затримками. Наявність точних вказівок на основі GNSS під час відправлення підтримує ефективні процедури зменшення шуму. Це забезпечує більшу гнучкість у маршрутах, де рельєф є обмежуючим фактором, забезпечуючи можливість меншого нахилу підйому та більшого корисного навантаження. GNSS може підвищити зручність використання аеропорту через зниження мінімумів без необхідності встановлення NAVAID в аеропорту. GNSS може підтримувати процедуру заходження на посадку з вертикальним наведенням (APV) на всіх злітно-посадкових смугах, з належним урахуванням стандартів аеродрому щодо фізичних характеристик, маркування та освітлення. Коли посадковий поріг зміщується, гнучкість, притаманна GNSS, може дозволити продовжувати роботу з вертикальним наведенням до нового порогу. GNSS також може використовуватися для підтримки наземних операцій. У відповідному обладнаному повітряному судні доступність точної позиції, швидкості та часу GNSS може використовуватися додатково для підтримки таких функцій, як автоматичне залежне спостереження (ADS) і зв'язок між диспетчером і пілотом (CPDLC). Наявність навігацій GNSS дозволить поетапно виводити з експлуатації деякі або всі традиційні NAVAID. Це зменшить витрати в довгостроковій перспективі, що призведе до економії

для користувачів повітряного простору. Навіть на ранніх етапах впровадження GNSS держави можуть уникнути витрат на заміну існуючих NAVAID. Планування виведення з експлуатації традиційних NAVAID залежить від наявності служби GNSS у конкретному повітряному просторі та від частки літаків, обладнаних для GNSS. GNSS можна впроваджувати поетапно, забезпечуючи збільшення операційних переваг на кожному етапі.

Хоча GNSS пропонує значні переваги, ця технологія має свої обмеження та тягне за собою ряд інституційних проблем. Під час схвалення операцій GNSS держави повинні враховувати ці обмеження та проблеми.

Перехід на GNSS є серйозною зміною для всіх членів авіаційної спільноти. Це впливає на експлуатантів повітряних суден, пілотів, служби повітряного руху (ОПР) і регулюючий персонал. Тому держави повинні ретельно планувати такий перехід і тісно консультуватися з усіма залученими сторонами. Глобальний характер GNSS також диктує тісну координацію з іншими державами. Ці міркування в поєднанні з темпами розвитку технології та додатків GNSS змушують постачальників аеронавігаційних послуг виділяти ресурси, швидко рухатися та зберігати гнучкість, щоб задовольнити потреби своїх клієнтів у послугах GNSS. Проблемою для GNSS є досягнення високої доступності обслуговування. Перші дозволи GNSS поклалися на традиційні NAVAID як резервну копію, коли недостатньо супутників було видно. SBAS і GBAS призначені для підвищення, серед іншого, продуктивності GNSS з точки зору доступності. Перешкоди сигналам GNSS безпосередньо впливають на доступність. Хоча можна створювати перешкоди для сигналів від традиційних NAVAID, ці допоміжні засоби мають обмежені обсяги обслуговування порівняно з GNSS, тому перешкоди для сигналів GNSS можуть впливати на більшу кількість літаків одночасно. Держави повинні оцінити ймовірність ненавмисного та навмисного втручання, включаючи вплив таких подій на експлуатацію повітряних суден. Якщо необхідно, необхідно вжити спеціальних заходів для

мінімізації цих ефектів. Хоча GNSS має потенціал для підтримки кращих заходів на посадку до більшої кількості злітно-посадкових смуг за відносно низьку вартість, мінімуми заходу на посадку також залежать від фізичних характеристик аеродрому та інфраструктури, такої як освітлення. Таким чином, під час планування нових заходів на посадку на основі GNSS або заходів на посадку з нижчими мінімумами держави повинні враховувати вартість відповідності стандартам аеродрому. Безпека навігації GNSS залежить від точності навігаційних баз даних. Тому держави повинні забезпечити цілісність даних під час розробки нових процедур. Крім того, мають існувати процедури та системи для забезпечення цілісності даних під час їх обробки для використання в авіоніці.

Схвалюючи операції GNSS, держава бере на себе відповідальність за забезпечення безпечного виконання таких операцій. Це стосується незалежно від того, чи базуються операції на нерозширеній супутниковій навігаційній системі, системі доповнення на борту літака чи системі доповнення, наданій постачальником послуг в іншій державі.

При прийнятті відповідних рішень щодо впровадження GNSS державам рекомендується використовувати досвід та інформацію, наявну в регіональних групах планування та впровадження (PIRG) ІКАО та їх підгрупах. ІКАО має мандат сприяти цьому процесу шляхом:

- а) забезпечення регіональної та міжрегіональної координації;
- б) забезпечення форуму для обміну досвідом та інформацією між державами та міжнародними організаціями;
- в) визначення потреб у технічній допомозі в регіоні та організація надання такої допомоги.

1.4. Спостережувані величини ГНСС-станцій

Перед запровадженням нових навігаційних послуг держава повинна оцінити навігаційні системи за чотирма основними критеріями: а) точність; б) цілісність (включаючи час до тривоги); в) безперервність служби; та г) доступність послуги. Доступність є наріжним каменем цих специфікацій, оскільки вона означає доступність точності з цілісністю та безперервністю. Рівень обслуговування та операційні обмеження, які можуть бути накладені, залежать від рівня доступності цієї послуги. При розробці SARPS GNSS загальні системні вимоги використовувалися як відправна точка для визначення конкретних вимог до продуктивності сигналу в просторі. У випадку GNSS розглядалося погіршення продуктивності, яке одночасно впливало б на кілька літаків. Це призвело до більш суворих вимог до певних характеристик сигналу в просторі. У цій главі описуються ці критерії та їх співвідношення з рівнями обслуговування, які може запропонувати держава у своєму повітряному просторі. Окрім технічних аспектів, необхідно також враховувати питання безпеки та експлуатації.

Точність позиції GNSS – це різниця між розрахунковим і фактичним положенням літака. Наземні системи, такі як VHF всеспрямована радіостанція (VOR) і система посадки за приладами (ILS), мають відносно повторювані характеристики помилок. Тому їх продуктивність можна виміряти протягом короткого періоду часу (наприклад, під час льотної перевірки), і передбачається, що точність системи не зміниться після вимірювання. Однак помилки GNSS можуть змінюватися протягом кількох годин через зміни геометрії супутника, вплив іоносфери та дизайн системи доповнення.

У той час як помилки можуть швидко змінюватися для основної групи супутників, помилки супутникової системи посилення (SBAS) і наземної системи посилення (GBAS) змінюватимуться повільно з часом.

Цілісність – це міра довіри до правильності інформації, що надається системою в цілому. Цілісність включає в себе здатність системи попереджати користувача, коли система не повинна використовуватися для запланованої операції (або фази польоту). Необхідний рівень цілісності для кожної операції встановлюється щодо конкретних горизонтальних/бокових (а для деяких заходів на посадку вертикальних) меж тривоги. Коли оцінки цілісності перевищують ці межі, пілот повинен бути попереджений протягом встановленого періоду часу.

Тип операції та фаза польоту визначають максимально допустимі горизонтальні/бічні та вертикальні похибки та максимальний час для сповіщення пілота.

Після попередження екіпаж повинен або відновити навігацію з використанням традиційних засобів навігації (NAVAID), або дотримуватися процедур, пов'язаних із рівнем обслуговування на основі GNSS із менш суворими вимогами. Наприклад, якщо межі тривоги перевищені для точного заходження на посадку категорії I, до того, як літак перетне контрольну точку кінцевого заходження на посадку, екіпаж може обмежити зниження до висоти прийняття рішення, пов'язаної з операцією APV. Безперервність – це здатність системи виконувати свою функцію без незапланованих перерв під час запланованої роботи. Це виражається як ймовірність. Наприклад, має бути висока ймовірність того, що послуга залишається доступною протягом процедури повного заходження на посадку за приладами. Вимоги до безперервності варіюються від нижчого значення для повітряного простору на маршруті з низькою інтенсивністю руху до більш високого значення для районів з високою інтенсивністю руху та складністю повітряного простору, де збій може вплинути на велику кількість літаків. Якщо існує високий

ступінь довіри до навігаційної системи, пом'якшення несправності може бути досягнуто за допомогою використання альтернативних навігаційних засобів або за допомогою спостереження та втручання диспетчерського управління повітряним рухом (АТЦ) для забезпечення підтримки ешелонування.

Доступність послуги – це відрізок часу, протягом якого система одночасно забезпечує необхідну точність, цілісність і безперервність. Доступність GNSS ускладнюється рухом супутників відносно зони покриття та потенційно тривалим часом, який потрібен для відновлення супутника в разі збою. Рівень доступності для певного повітряного простору в певний час має визначатися шляхом проектування, аналізу та моделювання, а не шляхом вимірювання. Керівний матеріал, що стосується надійності та доступності, міститься в Додатку 10, Том I, Додаток F. Встановлюючи вимоги до доступності для GNSS, слід враховувати бажаний рівень обслуговування, який буде підтримуватися. Доступність має бути прямо пропорційною довіри до елемента GNSS, який використовується для підтримки певної фази польоту. Щільність трафіку, альтернативні NAVAID, первинне/вторинне покриття спостереження, потенційна тривалість і географічний розмір збоїв, польоти та процедури УПР – це міркування, які держави повинні враховувати при встановленні специфікацій доступності для повітряного простору, особливо якщо традиційні NAVAID виводяться з експлуатації. розглядається. Слід також завершити оцінку операційного впливу погіршення якості обслуговування.

Інструмент прогнозування доступності може визначити періоди, коли GNSS не підтримуватиме заплановану операцію. Якщо цей інструмент використовується для планування польоту, то з експлуатаційної точки зору залишається лише ризик безперервності, пов'язаний із відмовою необхідних компонентів системи між часом, коли робиться прогноз, і часом, коли виконується операція.

РОЗДІЛ 2. ГНСС-МЕРЕЖІ

2.1 Поняття ГНСС-мережі

ГНСС-мережа представляє собою систему супутникової навігації, створену з метою позиціонування (визначення місця розташування в просторі – тобто координат) об'єктів. Окрім визначення місця розташування об'єкта сучасні навігаційні системи дозволяють визначити напрямок його руху і швидкість. На даний час близько 200 організацій, що займаються збором GNSS даних з базових станцій по всьому світу, об'єднані в IGS (International GNSS Service), яка, в свою чергу, входить до Міжнародної асоціації геодезії.

GNSS системи складаються з двох складових: космічної та наземної. Якщо не вдаватися в подробиці, то принцип роботи таких систем полягає у вимірюванні відстані від антени на об'єкті до супутників. Знаючи відстані до декількох супутників, положення яких відомо достатньо точно, навігаційні системи за допомогою звичайних геометричних побудов обчислюють місцезнаходження об'єкта.

Основні діючі і перспективні GNSS системи: GPS (США), ГЛОНАСС (Росія), GALILEO (Євросоюз), BeiDou (Китай), QZSS (Японія).

З метою підвищення точності позиціонування з декількох метрів до сантиметрів у багатьох країнах створюються наземні системи радіомаяків, а також інформаційна радіосистема для передачі користувачам диференціальних поправок, що дозволяють значно підвищити точність визначення координат.

Диференціальна поправка пересилається або з геостаціонарних супутників (системи WAAS, EGNOS, MSAS і ін.), або з наземних базових станцій.

Найбільша точність досягається при використанні RTK-поправок саме з наземних базових станцій. Саме така мережа під назвою System.NET діє з 2011 р в Україні.

Крім значного підвищення точності мережа System.NET дозволяє значно розширити зону позиціонування: визначення місця розташування стало можливо по всій зоні покриття мобільної мережі, де приймається GSM / GPRS сигнал, а так само в місцях з можливістю підключення до мережі Інтернет за допомогою інших каналів зв'язку.

Також стали можливими: виключення грубих помилок вихідних пунктів; підтримка єдиної міжнародної системи координат; можливість безпосередньої роботи в будь-якій необхідній системі координат; скорочення витрат на обладнання; контроль точності безпосередньо під час виконання вимірювань; збільшення продуктивності праці; використання додаткових сервісів – постобробка сирих даних RINEX, використання згенерованої віртуальної базової станції при постобробці кінематичних вимірювань (Virtual Reference Station), автоматична обробка даних і оцінка точності на сервері мережі (AutoPP, QC) і ін.

До глобальних/континентальних мереж перманентних GNSS станцій відносять мережі IGS та EPN. Мережа IGS складається із сукупності різнорідних станцій, що управляються різними організаціями і установами, які об'єднали свої ресурси під егідою IGS для досягнення найвищих критеріїв точності в глобальному позиціонуванні. Хоча строгі правила їх функціонування не узгоджуються з добровільним характером діяльності IGS, проте учасники цього процесу погоджуються дотримуватись стандартів і конвенцій, що містяться в технічних регламентах, які забезпечують стабільно високу якість мережі IGS і її продуктів. Поскільки особливе значення для IGS має стабільне, довгострокове функціонування мережі, то зміни в конфігурації або умовах ведення спостережень будь-якої станції повинні бути ретельно спланованими, щоб мінімізувати «розриви» в часових рядах координат цієї станції. Особливу увагу в мережі приділяють тим станціям, які вносять вклад в реалізацію Міжнародної земної референцної системи (ITRF). У регулярно оновлювальному файлі IGSXX.snх перераховуються станції, які сприяють

системі відліку IGS. Їхня загальна кількість коливається в межах 800-1000 станцій, а опорних – 127 станцій. Серед цієї кількості є вісім українських станцій, в тому числі чотири опорних: CRAO (Симеїз, Крим), GLSV (Голосієво-Київ), POLV (Полтава), UZHL (Ужгород). Основною метою мережі IGS є гарантування неперервного доступу користувачів до даних спостережень і продуктів. Мережа дає можливість отримання GNSS даних в різних часових затримках: від щоденних/щогодинних RINEX файлів до потоків безперервних даних у режимі реального часу та продуктів у вигляді орбіт супутників, координат станцій спостережень і швидкостей їх змін тощо. Отримання IGS даних і продуктів (GNSS Data & Product) можливе через доступні сервери чотирьох світових центрів зберігання даних: CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System), SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center), IGN (Institut Geographic National), KASI (Korea Astronomy and Space Science Institute) та додаткового через сервери регіональних центрів зберігання даних (для Європи це BKG - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie). Дванадцять центрів аналізу (Analysis Centers) та ряд асоційованих центрів аналізу використовують GNSS дані для створення IGS продуктів. Серед таких центрів є: CODE - Center for Orbit Determination in Europe (Швейцарія), JPL - Jet Propulsion Laboratory (США), MIT - Massachusetts Institute of Technology (США) тощо. Більшість розв'язків та продуктів IGS генеруються за допомогою останніх версій програмного забезпечення Bernese GNSS Software (CODE), GIPSY/OASIS (JPL) та GAMIT/GLOBK (MIT). Центри аналізу IGS в даний час забезпечують щоденне визначення координат станцій та швидкостей. На основі цих розв'язків виробляється комбінований (об'єднаний) продукт IGS. Ці комбіновані розв'язки і вважаються офіційними продуктами IGS, які дають свій вклад в реалізації ITRF. З моменту початку розвитку ITRF та появи поліпшення позиціонування, національні геодезичні агенції здійснили значні зусилля для переосмислення та модернізації континентальних/національних геодезичних референціальних систем, щоб вони були сумісні з ITRF. Наприклад,

European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89), North American Datum of 1983 (NAD83), Geocentric Datum для Австралії (GDA) та інші континентальні/національні геодезичні системи пов'язані з ITRF за допомогою традиційно прийнятих параметрів та формул трансформування, і часто визначаються фіксованими координатами в певну епоху. Для реалізацій континентальних геодезичних референцних систем були створені відповідні інфраструктури. Така інфраструктура складається з двох основних компонентів: (1) мережа станцій спостережень; і (2) асоційована континентальна служба у складі фахівців та адміністраторів, які підтримують її функціонування.

2.2 IGS мережі.

Понад двадцять п'ять років Міжнародна служба GNSS (IGS) виконувала свою місію, щоб захищати та надавати вільно та відкрито доступні високоточні дані та продукти GNSS . IGS вперше було схвалено головною організацією, Міжнародною асоціацією геодезії (IAG), на науковій зустрічі в Пекіні, Китай, у серпні 1993 року. Через чверть століття спільнота IGS зібралася на семінар в Ухані, Китай, у Жовтень/листопад 2018 року, щоб прокласти шлях до Multi- GNSS через глобальну співпрацю. В основі IGS лежить потужна культура обміну досвідом, інфраструктурою та іншими ресурсами з метою заохочення кращих глобальних практик для розробки та доставки даних і продуктів GNSS по всьому світу. Спільний характер спільноти IGS , яка станом на 2019 рік включає понад 140 зацікавлених організацій GNSS із 45 країн, використовує це розмаїття для інтеграції та повного використання всіх доступних технологій GNSS , одночасно сприяючи подальшим інноваціям. Понад 15 000 користувачів продукту, деякі з яких складають кістяк світової геодезичної спільноти, забезпечують інтеграцію нових технологій і систем у звичайні IGS продуктів.

Реагуючи на це нововведення, IGS розробляє та оприлюднює стандарти, рекомендації та конвенції щодо збору та використання даних і продуктів GNSS .

Місія IGS полягає в «забезпеченні на відкритому доступі найвищої якості даних GNSS , продуктів і послуг для підтримки наземної системи відліку; Спостереження та дослідження Землі; Позиціонування, навігація та синхронізація (PNT); та інші програми, які приносять користь науковому співтовариству та суспільству».

У 2019 році IGS прийняв офіційний слоган: «Надання відкрито доступних даних і продуктів GNSS , які приносять користь науці та суспільству», а також офіційне бачення організації: «Краще розуміння Землі через застосування GNSS » .

Основою IGS є глобальна мережа з понад 500 постійних і постійно діючих станцій геодезичної якості. Ці станції відстежують сигнали від GPS , а також все частіше відстежують сигнали від ГЛОНАСС , Galileo , BeiDou , QZSS , NavIC (IRNSS), а також космічних систем доповнення (SBAS). Станом на кінець 2019 року IGS має 506 станцій, з яких 308 є мульти- GNSS станціями та 259 станцій реального часу. Очікується, що в найближчі роки відсоток мереж IGS з підтримкою кількох GNSS зросте.

Це служба Міжнародної асоціації геодезії (IAG) і є спільними зусиллями за участю десятків наукових, академічних і державних організацій. IGS є критично важливим компонентом Глобальної системи геодезичних спостережень IAG (GGOS), де він сприяє економічно ефективним геометричним зв'язкам з іншими методами точних геодезичних спостережень, включаючи: супутникове лазерне визначення дальності (SLR), інтерферометрію з дуже довгою базовою лінією (VLBI) і Доплерівська орбітографія та радіопозиціонування, інтегроване супутником (DORIS). Ці

зв'язки є основоположними для створення та доступу до Міжнародної наземної координатної системи (ITRF).

IGS надає GPS- координати, швидкості та ERP , які вносять внесок у міжнародну наземну систему відліку (ITRF) . GNSS відіграє важливу роль у забезпеченні зв'язків між іншими методами космічної геодезії (VLBI , SLR та DORIS). Це також допомагає підтримувати орієнтацію ITRF .

Використання даних і продуктів IGS дозволяє виконувати високоточне позиціонування на великих територіях за допомогою Міжнародної наземної системи відліку (ITRF).

Мережа IGS складається із сукупності різноманітних станцій, що управляються різними організаціями і установами, які об'єднали свої ресурси під егідою IGS для досягнення найвищих критеріїв точності в глобальному позиціонуванні. Хоча строгі правила їх функціонування не узгоджуються з добровільним характером діяльності IGS, проте учасники цього процесу погоджуються дотримуватись стандартів і конвенцій, що містяться в технічних регламентах, які забезпечують стабільно високу якість мережі IGS і її продуктів. Поскільки особливе значення для IGS має стабільне, довгострокове функціонування мережі, то зміни в конфігурації або умовах ведення спостережень будь-якої станції повинні бути ретельно спланованими, щоб мінімізувати «розриви» в часових рядах координат цієї станції. Особливу увагу в мережі приділяють тим станціям, які вносять вклад в реалізацію Міжнародної земної референцної системи (ITRF). У регулярно оновлювальному файлі IGSXX.snх перераховуються станції, які сприяють системі відліку IGS. Їхня загальна кількість коливається в межах 800-1000 станцій, а опорних – 127 станцій. Серед цієї кількості є вісім українських станцій, в тому числі чотири опорних: CRAO (Симеїз, Крим), GLSV (Голосієво-Київ), POLV (Полтава), UZHL (Ужгород). Основною метою мережі IGS є гарантування неперервного доступу користувачів до даних

спостережень і продуктів. Мережа дає можливість отримання GNSS даних в різних часових затримках: від щоденних/щогодинних RINEX файлів до потоків безперервних даних у режимі реального часу та продуктів у вигляді орбіт супутників, координат станцій спостережень і швидкостей їх змін тощо. Отримання IGS даних і продуктів (GNSS Data & Product) можливе через доступні сервери чотирьох світових центрів зберігання даних: CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System), SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center), IGN (Institut Geographic National), KASI (Korea Astronomy and Space Science Institute) та додатково через сервери регіональних центрів зберігання даних (для Європи це BKG - Bundesamt für Kartographie und Geodäsie). Дванадцять центрів аналізу (Analysis Centers) та ряд асоційованих центрів аналізу використовують GNSS дані для створення IGS продуктів. Серед таких центрів є: CODE - Center for Orbit Determination in Europe (Швейцарія), JPL - Jet Propulsion Laboratory (США), MIT - Massachusetts Institute of Technology (США) тощо. Більшість розв'язків та продуктів IGS генеруються за допомогою останніх версій програмного забезпечення Bernese GNSS Software (CODE), GIPSY/OASIS (JPL) та GAMIT/GLOBK (MIT). Центри аналізу IGS в даний час забезпечують щоденне визначення координат станцій та швидкостей. На основі цих розв'язків виробляється комбінований (об'єднаний) продукт IGS. Ці комбіновані розв'язки і вважаються офіційними продуктами IGS, які дають свій вклад в реалізації ITRF. З моменту початку розвитку ITRF та появи поліпшення позиціонування, національні геодезичні агенції здійснили значні зусилля для переосмислення та модернізації континентальних/національних геодезичних референціальних систем, щоб вони були сумісні з ITRF. Наприклад, European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89), North American Datum of 1983 (NAD83), Geocentric Datum для Австралії (GDA) та інші континентальні/національні геодезичні системи пов'язані з ITRF за допомогою традиційно прийнятих параметрів та формул трансформування, і часто визначаються фіксованими координатами в певну епоху. Для

реалізацій континентальних геодезичних референцних систем були створені відповідні інфраструктури. Така інфраструктура складається з двох основних компонентів: (1) мережа станцій спостережень; і (2) асоційована континентальна служба у складі фахівців та адміністраторів, які підтримують її функціонування.

Продукти, отримані з даних GNSS, заархівованих у CDDIS, генеруються та подаються аналітичними центрами IGS та асоційованими аналітичними центрами. Продукти IGS підтримують наукові дослідження як:

- Реалізація міжнародної наземної системи відліку (ITRF).
- Моніторинг деформації твердої Землі.
- Спостереження за обертанням Землі.
- Моніторинг коливань гідросфери (рівень моря, льодовиковий покрив тощо).
- Наукове визначення орбіти супутника.
- Моніторинг іоносфери та тропосфери Землі.
- Передача часу та частоти.

Операційні продукти IGS включають точні супутникові ефемериди GNSS, позиції та швидкості станцій у глобальній мережі GNSS, EOP (рух і швидкості полюса, тривалість дня), а також рішення станційного та супутникового годинників. Інші продукти, отримані з даних CDDIS GNSS, включають оцінки затримки траєкторії в тропосфері в зеніті (ZPD) (як сухі, так і вологі компоненти) і глобальні карти іоносфери на підтримку робочих груп або пілотних проектів .

Точність орбіти є одновимірним середньоквадратичним значенням для трьох геоцентричних компонентів XYZ. Обмеження точності IGS, за винятком передбачених орбіт, базуються на порівняннях із незалежними

результатами лазерної локації та розривами між послідовними днями. Точність краща.

Точність (без урахування будь-яких внесків внутрішніх інструментальних затримок, які потрібно відкалібрувати окремо) усіх годинників виражається відносно часової шкали IGS, яка лінійно вирівнюється з часом GPS в одноденних сегментах. Значення стандартного відхилення (SDev) обчислюються шляхом усунення окремого зміщення для кожного годинника супутника та станції, тоді як це не робиться для значень RMS.

Кінцеві продукти IGS мають найвищу якість і внутрішню узгодженість серед усіх продуктів IGS. Вони надаються щотижня, до кожної п'ятниці, із затримкою від 13 (для останнього дня тижня) до 20 (для першого дня тижня) днів. Виняток становлять остаточні оцінки тропосфери IGS, які виробляються приблизно через 1-7 днів після того, як IGS обчислює кінцеві орбіти, годинники та параметри обертання Землі. Продукти IGS Final є основою еталонної системи IGS і призначені для тих застосувань, які вимагають високої послідовності та якості.

Продукти IGS Rapid (IGR) Продукти IGS Rapid мають якість, майже порівнянну з кінцевими продуктами. Вони надаються щодня із затримкою приблизно на 17 годин після закінчення попереднього дня спостереження; тобто продукти IGS Rapid випускаються щодня приблизно о 17:00 UTC. У більшості застосувань користувач продуктів IGS не помітить значних відмінностей між результатами, отриманими за допомогою продуктів IGS Final і IGS Rapid.

Надшвидкісні продукти IGS (IGU) Щоб скоротити вік попередніх припинених передбачуваних орбіт, IGS офіційно запустив надшвидкісні продукти на 1087-му тижні в листопаді 2000 року (див. IGSMAIL-3088).) . Як і попередні продукти IGS Predicted, продукти Ultra-rapid доступні для

використання в реальному часі та майже в режимі реального часу. Продукти Ultra-rapid випускаються чотири рази на день о 03:00, 09:00, 15:00 та 21:00 UTC. (До тижня 1267 вони публікувалися двічі на день.) Таким чином середній вік передбачень зменшується до 6 годин (порівняно з 36 годинами для старих продуктів IGS Predicted і 9 годинами для Ultra-rapids, що надходять двічі на день). Менша затримка має призвести до значного покращення прогнозування орбіти та зменшення помилок для програм користувача. На відміну від усіх інших орбітальних продуктів IGS, файли IGS Ultra-rapid orbit містять 48 годин орбітальних ефемерид у таблиці, а епохи початку/зупинки постійно зміщуються на 6 годин із кожним оновленням. Усі інші орбітальні продукти містять суворо 24 години з 00:00 до 23:45. Перші 24 години кожної ультрашвидкої орбіти IGS базуються на останніх даних GPS-спостережень із мережі щогодинного відстеження IGS. На момент випуску спостережувані орбіти мають початкову затримку 3 години. Наступні 24 години кожного файлу є прогнозованими орбітами, екстрапольованими зі спостережуваних орбіт. Однак орбіти в кожному файлі продукту Ultra-rapid є безперервними на межі між спостережуваною та прогнозованою частинами. Зазвичай прогнозовані орбіти між 3 і 9 годинами другої половини кожного файлу надшвидкої орбіти є найбільш релевантними для справжніх програм реального часу. екстрапольовано із спостережуваних орбіт. Однак орбіти в кожному файлі продукту Ultra-rapid є безперервними на межі між спостережуваною та прогнозованою частинами. Зазвичай прогнозовані орбіти між 3 і 9 годинами другої половини кожного файлу надшвидкої орбіти є найбільш релевантними для справжніх програм реального часу.

Основними даними, які надає IGS, є кодові та фазові вимірювання GPS і ГЛОНАСС (де доступно) у формі файлів RINEX для кожної зі станцій, що утворюють мережу IGS. Інші дані включають трансляцію ефемерид (орбіт) для GPS і ГЛОНАСС і метеорологічну інформацію станцій. Оновлені дані станції доступні щодня. Продукти IGS отримані на основі цих даних. До них належать точні ефемериди, поправки годинника супутника/приймача, параметри обертання Землі (ERP), параметри атмосфери, координати станції та швидкості станції. Продукти доступні з різними затримками, щоб відобразити вимоги різних програм. Надшвидкісні продукти доступні майже в реальному часі, але є найменш точними. Продукція Rapid надається протягом одного-двох днів і має більшу точність. Кінцеві продукти забезпечують найкращу точність і доступні протягом десяти днів до чотирьох тижнів (залежно від продукту). IGS також надає дані калібрування антен для антен у своїй мережі та журнали сайтів, що містять метадані станцій. Geoscience Australia та Массачусетський технологічний інститут спільно керують Координаційним центром аналізу IGS (ACC), діяльність якого базується на Geoscience Australia в Канберрі, Австралія. Комбіноване програмне забезпечення ACC розміщено на хмарних серверах, розташованих в Австралії та Європі, а координація створення продуктів IGS продовжує здійснюватися персоналом, розподіленим між GA та MIT. Під цим спільним управлінням IGS продовжує підтримувати дуже високий рівень доступності продукції.

2.3 EPN мережі

EPN (European Permanent Network) – це європейська GNSS-мережа, що була організована в 1995 році. Склад станцій не залишався постійним: з року в рік кількість станцій невпинно збільшувалась, але і деякі станції припиняли свою роботу. Станом на початок 2018 р. у мережу EPN входило понад 300 GNSS

станцій (див. рис.1). На основі багаторічних часових серій координат та швидкостей із регулярних EPNрозв'язків, станції EPN класифікують за певними критеріями якості і тривалості доступного інтервалу часу спостереження.

Згідно цих критерії станції мережі EPN ділять на два класи:

-клас_A: <1 см точності координат ETRS89 для будь-якої епохи та <1 мм/рік швидкості їх зміни;

-клас_B: <1 см точності координат ETRS89 для епохи з мінімальною дисперсією

щодо середньої епохи. Швидкості при цьому не публікуються.

Тільки станції класу А вважаються придатними в якості опорних станцій для згущення національної GNSS мережі в ETRS89.

На території України діє 14 перманентних GNSS станцій, включених до мереж IGS/EPN. Коротка характеристика їхньої діяльності в роках представлена на рис. 1.

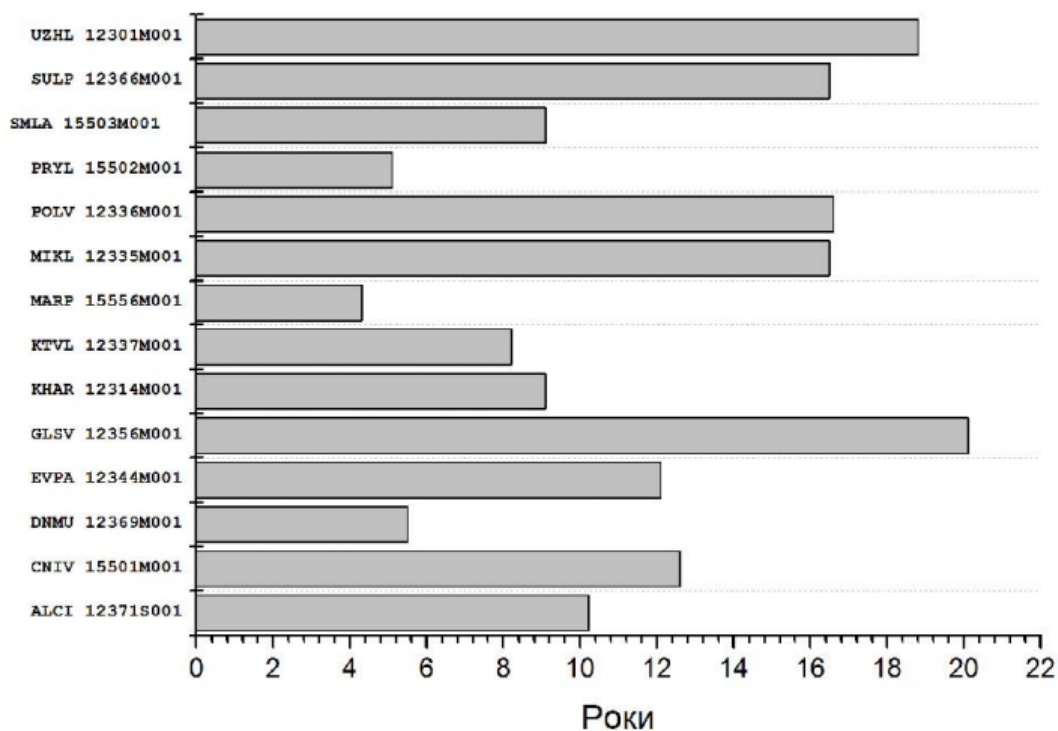


Рис.1. Тривалість роботи українських перманентних GNSS станцій, що працюють в мережі EPN/IGS (грудень 2017 р.)

Під час кампаній із згущення 7 станцій EPN в Україні мали категорію А та використовувались у реалізації ETRF2000-UA, тоді як станції класу В: GLSV 12356M001, KHAR 12314M001, KTVL 12337M001 та SMLA 15503M001 використовувалися як рядові GNSS-станції. Треба зазначити, що станції ALCI 12371S001 та EVPA 12344M001 на даний час не працюють, а станції PRYL 15502M001, MARP 15556M001 та DNMU 12369M001 ще мають порівняно малу тривалість спостережень і не включені до загальноєвропейського аналізу.

Референцна система ETRS89 підтримується EUREF через мережу перманентних GNSS референцних станцій (EPN), координати яких регулярно визначаються в ETRS89 і представляють собою її реалізацію першого рівня в континентальному плані. На національному рівні ETRS89 реалізується покроковим згущенням і вдосконаленням «оригінала» референцної системи EUREF, через існуючі станції EPN. Подібно до міжнародної земної референцної системи ITRS, ETRS89 розвивається стадіями, а кожна стадія розвитку представляється відповідною реалізацією. Сама остання реалізація завжди є вдосконалішою за попередню. Для референцної системи ITRS такою останньою реалізацією є ITRF2005 з епохою 2000.0, а ETRS89 відповідно ETRF2000 та епохою 2000.0. Надійність координат мережі EPN залежить від загальної тривалості спостережень та можливості використання інших космічних методів спостережень. Координати EPN-станцій доступні у двох референцних системах - ITRS та ETRS89. Залежно від тривалості спостережень і обробки для станцій мережі EPN можна виділити три типи координат: (А) щотижневі координати, обчислені шляхом комбінування локальних розв'язків з окремих частин мережі EPN, (Б) мережеві координати і швидкості їх зміни, обчислені у рамках проекту EPN „Time series monitoring“ (В) офіційні координати і швидкості, що видаються Міжнародною службою

обертання Землі і референцних систем - IERS за результатами комбінування багаторічних координатних розв'язків, отриманих декількома космічними геодезичними методами. Як показали наші дослідження, координати (А) не цілком підходять для визначення референцної системи, а можуть бути використані лише для грубого координатного контролю. Координати (Б) є більш точними розв'язками щодо станцій EPN. Вони є придатними для використання у тому випадку, коли перманентна станція працює вже багато років, але ще не включена у список IERS. Важливо, щоб координати станції були задані мінімум у двох останніх послідовних ITRF розв'язках. Навіть якщо станція має період спостереження 1.5-2 роки, то її координати вже еквівалентні ITRF розв'язкам, проте швидкість їх зміни потребує більш довшого часового ряду. (скорость нуждается в более длинном наблюдении набор). Координати (В) - офіційні координати/швидкості станцій EPN, що видаються IERS. Рекомендації європейських організацій зводяться до наступного. Якщо на відстані до 300 км від референцних станцій є перманентні станції EPN з офіційними координатами/швидкостями (В), то їх слід використовувати у першу чергу для прив'язки до земної референцної системи ITRS/ETRS89. При відсутності таких станцій потрібно використовувати станції типу (Б). Таких станцій є, як правило, достатня кількість, особливо, в околі Закарпаття. Координати типу (А) можна використовувати лише у тому випадку, коли цілком відсутні типи (В) і (Б). Можемо також зауважити, що вибір вихідних станцій не повинен бути механічним. Потрібно проаналізувати координати та швидкості на предмет їхньої непередбачуваної зміни (особливість розташування, заміна обладнання на станції, тривалі перерви у роботі тощо). Координати референцних станцій повинні визначатися згідно рекомендацій Технічної робочої групи EUREF та засад IGS (International GNSS Service). Ці рекомендації встановлюють порядок визначення координат і направлені на те, щоб координати референцних станцій були пов'язані виключно з референцною системою, що підтримується через EPN та повинні представляти національну ETRS89

реалізацію. Основні рекомендації з визначення координат референціальних станцій зводяться до наступного: для обробки спостережень треба використовувати високоточне GNSS програмне забезпечення типу Bernese, GAMIT, GIPSY-OASIS, Geodyn, Geonap, Trimble Total Control тощо; вибирати станції EPN таким чином, що вони охоплювали ділянку мережі референціальних станцій зі всіх сторін; проводити спостережну кампанію не менше 3-4 тижнів, використовуючи станції EPN; визначати зміни фазового центра антени необхідно за результатами індивідуального їх калібрування, якщо такі дані є. У разі їх відсутності треба використовувати IGS-модельні значення калібрувань антени певного типу; при обробці даних спостережень генерувати вільний розв'язок мережі станцій; отримують регуляризований розв'язок шляхом встановлення координат вихідної/вихідних станцій EPN; трансформують результати урівнювання в ITRF2005/ETRF2000 на епоху 2000.0 Використовуючи дані рекомендації протягом певного періоду спостережень можна досягнути точності координат референціальних станцій на рівні 1 мм в плані та 3 мм у висоті в порівнянні з фактичною EPN реалізацією. Отже, головною задачею для новоствореної мережі активних референціальних станцій ZAKPOS стало високоточне визначення просторових координат всіх встановлених GNSS-антен з включенням їх у українську мережу перманентних станцій. Мережа референціальних станцій ZAKPOS у Закарпатській обл. складається з 5 GNSS станцій, таких як: Рахів (RAKH), Міжгір'я (MIZG), Хуст (KHST), Мукачеве (MUKA), Великий Березний (VBER). Схематично мережа ZAKPOS представлена на рис.2, (приблизні відстані між станціями, які входять у мережу наведені у км).

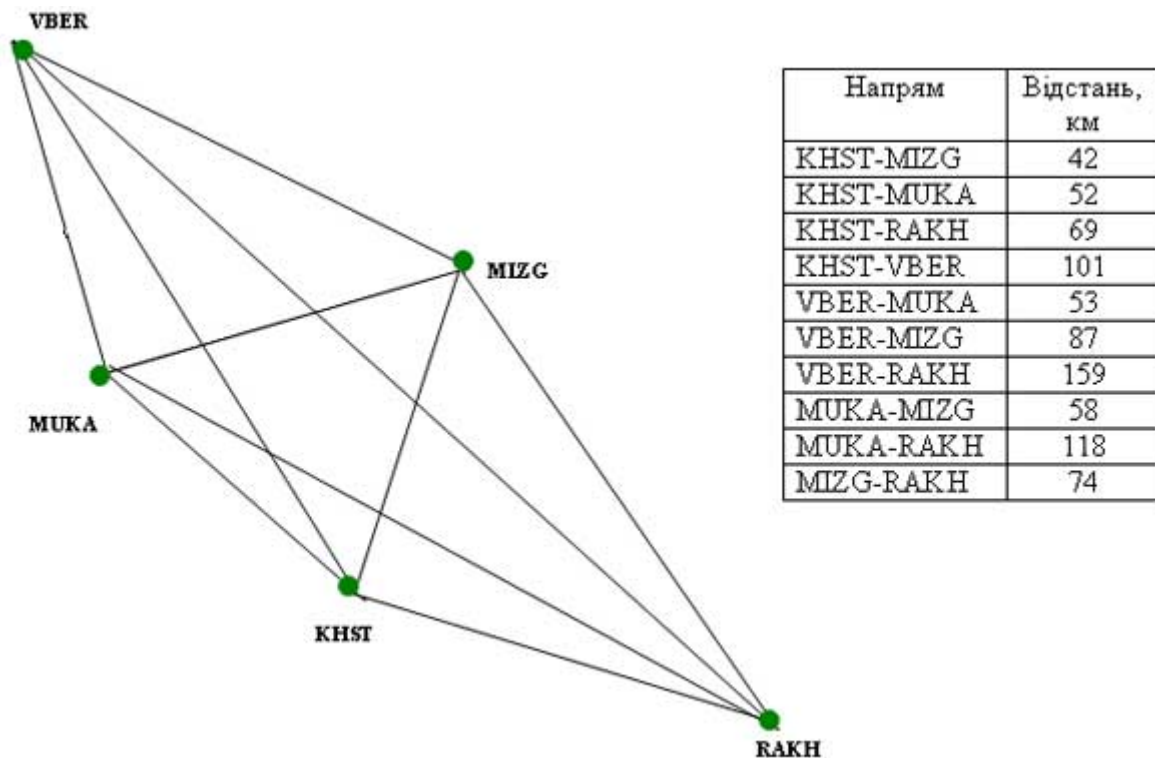


Схема розташування референцих станцій мережі ZAKPOS у таблиці наведені характеристики обладнання референцих станцій мережі ZAKPOS (типи приймачів та антен, висота антен).

Код станції	Тип приймача	Тип антени	Висота антени до ARP
MIZG	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0000 m
MUKA	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0770 m
KHST	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0000 m
RAKH	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0000 m
VBER	TRIMBLE NetR5	TRM55971.00	0.0000 m

Характеристики обладнання станцій мережі ZAKPOS

Регулярні GNSS спостереження на референцих станціях мережі ZAKPOS розпочалися 4 лютого 2009 р. (35 GPS день та 1517 GPS-тиждень). Всього в обробку було включено 10 тижнів безперервних спостережень – від 1517 до 1526 GPS-тижня. Тривалість добових спостережень становила 24h, а інтервал між епохами – 1-5s. Для подальшої обробки залучалися відповідні дані із українських перманентних станцій EPN UZHL (Ужгород) та SULP (Львів). Зазначимо, що координати станції UZHL відносяться до типу (В), тобто мають офіційний статус, а координати станції SULP до типу (Б).

Обробка даних GNSS спостережень виконувалася із використання програмного забезпечення Trimble Total Control версії 2.73 у режимі Double Difference, згідно конвенцій IERS та IGS для геофізичних моделей та параметрів. До особливостей процесу обробки можна також віднести використання: калібрувальної моделі антен IGS за висоти та азимуту супутників (оновлена від 5.03.2009 р.); глобальних параметрів орбіт, годинників супутників, обертання Землі з фінальних розв'язків IGS; лінійних комбінацій (L3) подвійних різниць фаз “ionosphere-free”; тропосферних корекцій шляхом визначення для кожної станції зенітних затримок “Dry-Niell” для двогодинних інтервалів; іоносферних щоденних карт TEC (IONEX-файли); офіційних координат перманентної станції UZHL (Ужгород) у референційній системі ITRF2005 на епоху спостережень (середина поточного тижня). Схема мережі, що підлягала обробці, приведена на рис. 2. Координати станції UZHL використовувалися для утворення регуляризованого розв'язку (фіксувалися на відповідну епоху спостережень), а координати станції SULP – як контрольні для незалежного оцінювання. У тижневому розв'язку приймали участь 7 станцій спостережень, які утворювали біля 150 векторів. Спочатку мережа урівнювалася як вільна, оцінювалася якість обробки та урівнювання, а потім вже фіксувалися координати станції UZHL.

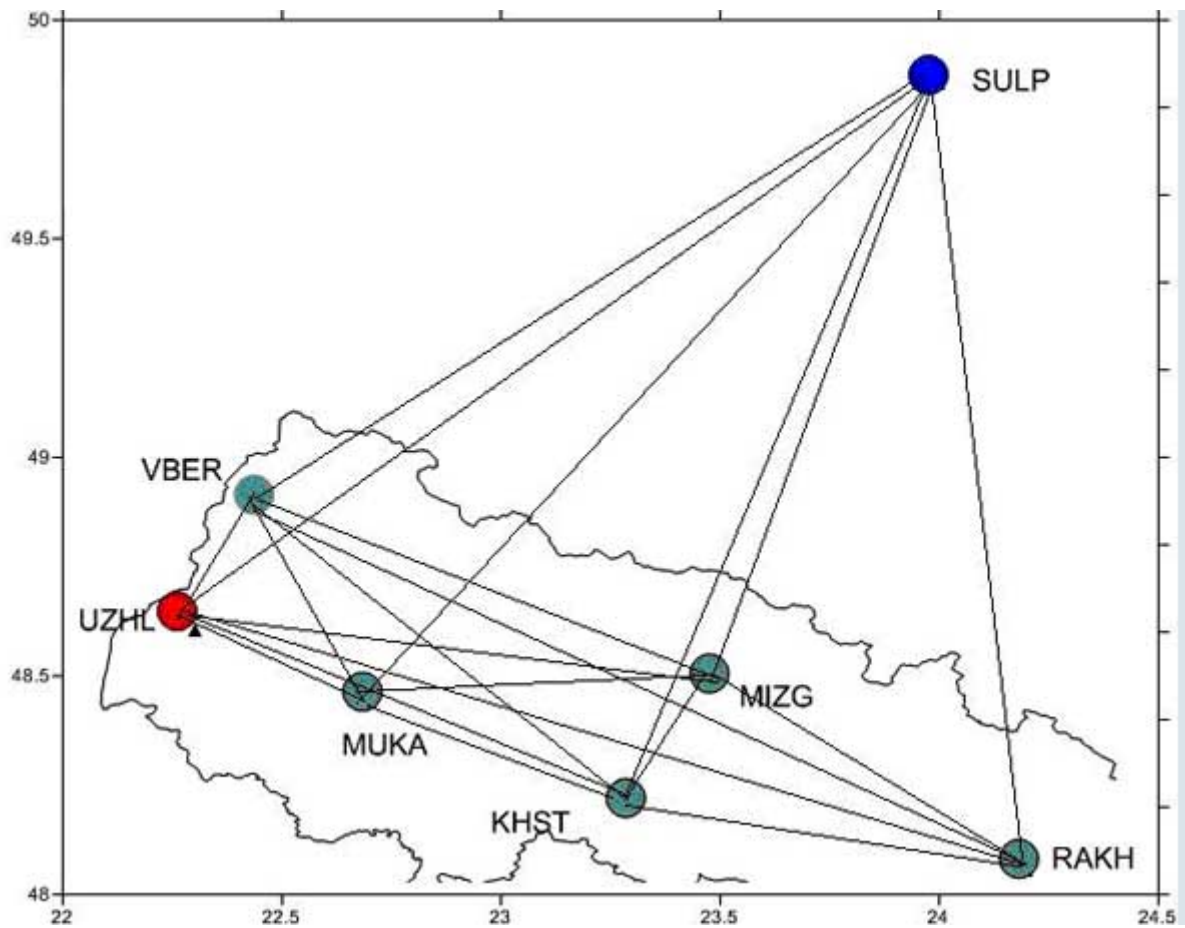


Схема мережі референцних станцій ZAKPOS та станцій EPN.

У таблиці приведені статистичні характеристики точності обчислення координат станцій за весь період спостережень.

Характеристика	m_X, MM			m_Y, MM			m_Z, MM		
	Сер.	1.3	1.2	1.4	0.8	0.7	0.8	1.4	1.3
max	2.0	2.1	2.7	1.2	1.3	1.5	2.1	2.3	3.0
min	0.7	0.7	0.8	0.4	0.4	0.4	0.7	0.7	0.9

Усереднена точність координат референцних станцій мережі ZAKPOS Порівняльні дані обчислених нами координат перманентної станції SULP з її координатами типу (Б) із проекту EPN „Time series monitoring“ наведені у наступній таблиці.

Характеристика	Δ_X, MM			Δ_Y, MM			Δ_Z, MM		
	Сер.	-5.6	-6.0	-3.5	0.1	-0.1	0.8	-11.4	-10.8

Різниці між обчисленими та EPN координатами станції SULP

Отримані характеристики точності обчислених координат референтних станцій ZAKPOS вказують на їх високу якість і цілковиту придатність до використання при RTK-режимі.

2.4 Основні засади та призначення міжнародних ГНСС-мереж

Службу GNSS можна запроваджувати поетапно в міру розвитку технології та операційних процедур. Однак на впровадження послуг GNSS за етапами можуть впливати різні фактори, зокрема:

- a) існуючі навігаційні служби;
- b) наявність критеріїв проектування процедур GNSS;
- c) рівень обслуговування повітряного руху, що підтримує роботу GNSS;
- г) інфраструктура аеродрому;
- е) ступінь оснащення ПС;
- е) повнота відповідних нормативних актів.

Залежно від цих факторів держави можуть прийняти різні стратегії впровадження та отримувати різні вигоди від різних етапів впровадження.

Впровадження систем доповнення покращує обслуговування та усуває більшість обмежень. Залежно від обсягу трафіку та структури повітряного простору, держави можуть вибрати свій рівень участі в розробці та впровадженні супутникової системи посилення (SBAS) та/або наземної системи посилення (GBAS). Ці зусилля з впровадження вимагають високого рівня співпраці між державами, щоб забезпечити максимальні експлуатаційні переваги операторам повітряних суден.

На початку 1990-х років багато операторів повітряних суден швидко перейняли GNSS через доступність відносно недорогих приймачів

глобальної системи позиціонування (GPS). Оператори використовували ці перші приймачі як допоміжний засіб для навігації за правилами візуального польоту (VFR) і правил польоту за приладами (IFR). Вони швидко побачили переваги можливості глобальної зональної навігації (RNAV) і вимагали авіоніки, яку можна було б використовувати для навігації за ППП.

Основні супутникові угруповання не були розроблені для задоволення суворих вимог навігації за ППП. З цієї причини авіоніка GNSS, яка використовується в польотах за ППП, повинна посилювати сигнал GNSS, щоб, серед іншого, забезпечити його цілісність. ABAS доповнює та/або інтегрує інформацію GNSS з інформацією, наявною на борту літака, для покращення продуктивності основних груп супутників.

Найпоширеніший метод ABAS називається автономним моніторингом цілісності приймача (RAIM). RAIM потребує резервних супутникових вимірювань дальності для виявлення помилкових сигналів і сповіщення пілота. Вимога щодо надлишкових сигналів означає, що навігаційні вказівки з цілісністю, яку забезпечує RAIM, можуть бути недоступні 100 відсотків часу. Доступність RAIM залежить від типу операції; він нижчий для неточного заходження на посадку, ніж для терміналу, і нижчий для терміналу, ніж для маршруту. Саме з цієї причини схвалення GPS/RAIM зазвичай мають експлуатаційні обмеження. Інший метод ABAS передбачає інтеграцію GNSS з іншими бортовими датчиками, такими як інерціальні навігаційні системи.

Багато держав скористалися перевагами GPS/ABAS для покращення обслуговування без будь-яких витрат на інфраструктуру. Використання GPS/ABAS є важливим першим етапом поетапного переходу до наведення GNSS на всіх етапах польоту.

Початкові дозволи на використання GNSS охоплювали операції на маршруті, терміналі та неточність заходження на посадку. Багато постачальників

послуг розробили нові автономні методи заходу на посадку GPS, які пропонують значні переваги, оскільки вони можуть бути розроблені для забезпечення найефективнішої траєкторії польоту до злітно-посадкової смуги, не потребують зміни курсу та надають пілоту точну інформацію про місцезнаходження протягом усієї процедури. Більшість автономних підходів GPS забезпечують наведення прямо, тому вони значно безпечніші, ніж підходи по колу.

У деяких державах пілотам дозволено виконувати польоти у відповідних схемах VHF всенаправленої радіостанції (VOR), VOR/дистанційно-вимірювального обладнання (DME), ненаправленого радіомаяка (NDB) і неточного заходження на посадку (NPA) NDB/DME з використанням навігацій GPS. Вони називаються підходами «GPS overlay» і дозволяють операторам отримати вигоду від кращої точності та ситуаційної обізнаності без необхідності постачальнику послуг розробляти новий підхід. Це розглядається як проміжний крок, щоб отримати перші переваги для користувачів. Використовуючи навігацію GPS, пілоти слідуєть за маршрутом, визначеним традиційними навігаційними засобами (NAVAID), і дотримуються видимості та мінімальної висоти зниження, пов'язаної з традиційним заходом на посадку. Однак деякі процедури на основі VOR і NDB не підходять для програми накладання, оскільки певні ділянки заходу на посадку не можна адаптувати до системи кодування даних RNAV. Накладення GPS на посадку не є ідеальним з точки зору пілота, оскільки початкові процедури NPA не передбачалися для польотів із використанням системи RNAV.

Заходження на посадку з накладанням слід видалити з Державного збірника аеронавігаційної інформації (AIP), якщо для однієї злітно-посадкової смуги розроблено автономне заходження на посадку за допомогою GPS, щоб уникнути плутанини між двома заходами на посадку на одній злітно-посадковій смузі. Певні експлуатаційні

обмеження вважаються необхідними для впровадження процедур NPA на основі GPS. Причини та характер цих обмежень відрізняються від штату до штату та включають: наслідки перебоїв у роботі GPS у великих регіонах; наявність традиційних NAVAID в якості резерву; щільність руху; і правила резервування авіоніки. Загальним експлуатаційним обмеженням є те, що пілот не повинен враховувати заходження на посадку за GPS на запасному аеродромі при визначенні альтернативних мінімальних вимог погоди.

Деякі держави також схвалили використання GPS як єдиної служби навігації в океанських і віддалених районах. У цьому випадку авіоніка повинна мати не тільки здатність виявляти несправний супутник (через RAIM), але й виключати цей супутник і продовжувати надавати наведення. Ця функція називається виявлення та виключення несправностей (FDE). Згідно з таким схваленням, літаки мають подвійні системи, і оператори виконують передполітні прогнози, щоб переконатися, що на увазі буде достатньо супутників для підтримки запланованого польоту. Це надає операторам економічно ефективну альтернативу інерціальним системам навігації в океані та віддаленому повітряному просторі.

Деякі літальні апарати з існуючими інерціальними навігаційними системами використовували інший метод ABAS, який передбачає інтеграцію GNSS з інерціальними даними. Поєднання виявлення несправностей GNSS (FD) або FDE разом із короткочасною точністю сучасних інерціальних навігаційних систем забезпечує підвищену доступність цілісності GNSS на всіх етапах польоту.

У випадку GNSS деякі держави мають NOTAM або консультаційні системи, щоб інформувати пілотів, коли і де функція RAIM буде недоступна. Багато операторів використовують GPS як засіб навігації за VFR. Поки пілоти покладаються на читання карт і візуальний контакт із землею, таке використання GPS може підвищити ефективність і безпеку. Деякі держави

вимагають сертифікацію бортового електроніки за IFR для виконання певних операцій за VFR.

SBAS доповнює основні супутникові угруповання, надаючи інформацію про діапазон, цілісність і коригування через геостаціонарні супутники.

Система містить:

- a) мережа наземних опорних станцій, які контролюють супутникові сигнали;
- b) головні станції, які збирають і обробляють дані опорної станції та генерують повідомлення SBAS;
- c) станції висхідної лінії зв'язку, які надсилають повідомлення на геостаціонарні супутники;
- d) транспондери на цих супутниках, які транслюють повідомлення SBAS.

Забезпечуючи диференціальні поправки, сигнали додаткового визначення дальності через геостаціонарні супутники та інформацію про цілісність для кожного навігаційного супутника, SBAS забезпечує набагато вищу доступність обслуговування, ніж основні групування супутників із лише ABAS. У певних конфігураціях SBAS може підтримувати процедури заходження на посадку з вертикальним наведенням (APV). Існує два рівні APV: APV I та APV II. Обидва використовують однакові бічні поверхні перешкод як локалізатори; однак APV II може мати нижчі мінімуми через кращу вертикальну продуктивність. Тим не менш, буде лише один захід на посадку APV до кінця злітно-посадкової смуги, залежно від рівня обслуговування, який SBAS може підтримувати на аеродромі. Два типи заходження на посадку APV ідентичні з точки зору авіоніки та процедур пілота.

У багатьох випадках SBAS підтримуватиме нижчі мінімуми, ніж ті, що пов'язані з неточними заходами на посадку, що призводить до більшої

зручності використання аеропорту. Майже всі заходи на посадку SBAS матимуть вертикальне наведення, що призведе до значного підвищення безпеки. Мінімальні значення APV (аж до висоти прийняття рішення (DH) приблизно 75 м (250 футів)) будуть вищими, ніж мінімуми категорії I, але заходження на посадку APV не вимагатимуть такої ж наземної інфраструктури, тому це збільшення безпеки буде доступним у більшості аеропортів. Рівні доступності SBAS дозволять операторам скористатися перевагами мінімумів заходження на посадку за приладами SBAS при призначенні альтернативного аеропорту. Підхід SBAS не вимагає жодної інфраструктури SBAS в аеропорту.

SBAS може підтримувати всі операції RNAV на маршруті та в терміналі. Важливо, що SBAS пропонує доступні можливості RNAV для широкого кола користувачів. Це дозволить державам реорганізувати повітряний простір для максимальної ефективності та пропускну здатності, дозволяючи літакам слідувати найбільш ефективним маршрутом польоту між аеропортами. Висока доступність послуг дозволить державам вивести з експлуатації традиційні NAVAID, що призведе до зниження витрат.

Розробляються чотири системи SBAS: Європейська служба геостаціонарної навігації (EGNOS); індійська система GPS і геостаціонарної навігації на орбіті Землі (GEO) (GAGAN); японський багатofункціональний транспортний супутник (MTSAT) супутникова система доповнення (MSAS); і система розширення зони сполучення (WAAS).

Геостаціонарні супутникові сліди визначають зону покриття SBAS. У цій зоні покриття держави можуть створювати зони обслуговування, де SBAS підтримує схвалені операції. Інші держави можуть скористатися сигналами, доступними в зоні покриття, двома способами: шляхом розміщення компонентів SBAS, інтегрованих з існуючою SBAS, або шляхом дозволу на використання сигналів SBAS. Перший варіант пропонує певний ступінь

контролю та покращену продуктивність. У другому варіанті відсутній будь-який ступінь контролю, і ступінь покращення продуктивності залежить від близькості хост-SBAS до зони обслуговування.

У будь-якому випадку держава, яка створила зону обслуговування SBAS, повинна взяти на себе відповідальність за сигнали SBAS у цій зоні обслуговування.

Якщо в зоні покриття SBAS будуть схвалені операції лише за допомогою ABAS, авіоніка SBAS також підтримуватиме роботу ABAS і фактично краще відповідатиме вимогам доступності обслуговування. Незважаючи на те, що архітектури різних SBAS відрізняються, вони транслюють стандартний формат повідомлень на одній частоті (GPS L1), а тому є сумісними з точки зору користувача. Очікується, що ці мережі SBAS розширяться за межі початкових зон обслуговування. Також можуть бути розроблені інші мережі SBAS. Коли зони покриття SBAS перекриваються, оператор SBAS може контролювати та надсилати повідомлення про цілісність і коригування для геостаціонарних супутників іншого SBAS, таким чином покращуючи доступність шляхом додавання джерел вимірювання дальності. Це покращення системи має здійснюватися всіма операторами SBAS.

Наземні підсистеми GBAS призначені для надання послуги точного заходження на посадку та, за бажанням, вони також можуть надавати послугу позиціонування GBAS. Послуга точного заходження на посадку призначена для надання вказівок щодо відхилення для кінцевих сегментів заходу на посадку, тоді як служба позиціонування GBAS надає інформацію про горизонтальне положення для підтримки двовимірних операцій RNAV у районах терміналів. Наземна станція в аеропорту транслює відповідні місцеві поправки, параметри цілісності та дані про захід на літак у зоні терміналу в діапазоні 108–117,975 МГц.

Встановлення GBAS, як правило, забезпечує коригування, які підтримують заходження на кілька злітно-посадкових смуг в одному аеропорту. У деяких випадках дані також можуть використовуватися для найближчих аеропортів і вертодромів. Інфраструктура GBAS включає електронне обладнання, яке можна встановити в будь-якій відповідній будівлі аеропорту, і антени для трансляції даних і прийому супутникових сигналів. Розташування антени не залежить від конфігурації злітно-посадкової смуги, але вимагає ретельної оцінки локальних джерел перешкод, блокування сигналу та багатопроменевості. Розташування антени для передачі даних у діапазоні VHF має забезпечити достатню зону покриття для запланованих операцій. Складність і резервування встановлення наземної станції GBAS залежить від наданої послуги. Вартість і гнучкість GBAS призведуть до того, що більше кінців злітно-посадкової смуги будуть обладнані кваліфікованим електронним наведенням точного заходження на посадку, що призведе до значного підвищення безпеки та ефективності. Однак такі злітно-посадкові смуги повинні відповідати відповідним стандартам фізичних характеристик та інфраструктури.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ УКРАЇНСЬКИХ ГНСС-МЕРЕЖ

3.1. ГНСС-мережі в Україні

Головною астрономічною обсерваторією НАНУ у 2007—2008 рр. виконано інноваційні проекти «Інформаційно-вимірювальна GNSS система та мережна VRS-технологія забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок у Закарпатті та Чернігівщині» та «Інформаційно-вимірювальна GNSS та мережа VRS-технологія забезпечення геодезичних і кадастрових зйомок у Києві та Київській області» [1—7]. При виконанні цих робіт створено прототип інформаційно-вимірювальної супутникової ГНСС-системи (ІВС) забезпечення геодезичних та кадастрових зйомок з використанням спостережень регіональної мережі референтних перманентних ГНСС-станцій на території Київської, Чернігівської та Черкаської областей. Розробка системи остаточно ще не була завершена, тому для її розвитку, поширення зони дії та введення в дослідну експлуатацію необхідно було доопрацювати ряд технічних рішень, а саме провести модернізацію окремих перманентних референтних ГНСС-станцій EVPA (м. Євпаторія), CNIV (м. Чернігів) та UZHL (м. Ужгород). Перманентна GPS-станція «Ужгород» (UZHL) була встановлена 1999 року. Станція UZHL була включена в мережу Міжнародної ГНСС-служби (IGS) та в Європейську перманентну ГНСС-мережу (EPN). Вимірювальна інформація з цієї станції передавалася до трьох міжнародних центрів збору ГНСС-даних (IGN — Франція, OLG — Австрія, BKG — Німеччина) та до локального центру збору даних ГАО НАН України. Одинадцять років GPS-станція UZHL працювала згідно з усіма вимогами міжнародних організацій, проте за цей час обладнання станції відпрацювало свій ресурс і морально застаріло. Останні півроку обладнання на станції працювало зі збоями, часто реєструвалися спостереження GPS-супутників лише на частоті L1. У зв'язку з вищезазначеним виникла нагальна потреба модернізації. Передбачалося, що модернізація станції UZHL дасть змогу

спостерігати супутники обох (GPS і ГЛОНАСС) систем [8]. Перманентна GPS-станція «Євпаторія» (EVPA) була встановлена в 1999 р. Станція EVPA включена в Європейську перманентну ГНСС-мережу. Вимірювальна інформація з цієї станції передається до двох міжнародних центрів збору ГНСС-даних (OLG — Австрія, BKG — Німеччина) та до локального центру збору даних ГАО НАН України. Починаючи від 2009 р., морально застаріле обладнання станції почало працювати зі збоями, часто реєструвалися спостереження GPS-супутників лише на частоті L1. Тому виникла нагальна потреба модернізації станції. Передбачалося, що після модернізації станція EVPA зможе брати участь у спостереженні супутників обох систем. Перманентна GPS-станція «Чернігів» (CNIV) була встановлена в 2005 р. Станція CNIV включена в Європейську перманентну ГНСС-мережу. Вимірювальна інформація з цієї станції передається до двох міжнародних центрів збору ГНСС-даних (OLG — Австрія, BKG — Німеччина) та до локального центру збору даних ГАО НАН України. Після п'яти років роботи виникла нагальна потреба модернізації обладнання станції.

3.2 Розвиток українських ГНСС-мереж

Виконані роботи по модернізації станції дали можливість:

- відновити повноцінну та безперервну робо-ту станцій згідно з останніми вимогами між-народних служб;
- модернізувати приймачі станцій, що дало змогу одночасно реєструвати сигнали супутників радіонавігаційних систем GPS (США) та ГЛОНАСС (РФ);
- оновити приймальну апаратуру, здатну забезпечити формування диференціальних корекцій (стандарт RTCM версій 2.3 або 3.0) для покращення визначення координат споживачів, які знаходяться в радіусі 75—100 км від станції;

- встановити додаткові блоки приймачів, що дають змогу реєструвати нові типи сигналів GPS L2C, а за умови зміни антени — приймати GPS-сигнали на частоті L5;
- покращити внутрішній генератор приймача, точність якого складає тепер 20 нс.

Після проведеної модернізації точність визначення координат рухомого користувача тепер може досягати 2,5 см за умови використання ним двочастотного приймача (режим real-time kinematic) та декількох дециметрів у випадку використання одностотного приймача (режим differential GPS).

Згаданий диференціальний режим особливо корисний для потреб навігації рухомих об'єктів, а також для інших робіт, які вимагають отримання розв'язку задач позиціонування в реальному часі. З використанням модернізованого обладнання стало можливим реєструвати спостереження не тільки GPS-супутників, а і супутників системи ГЛОНАСС, накопичувати на локальному FTP-сервері необхідну за об'ємом кількість вимірювальної інформації, прийнятої від супутників, виконувати попередній аналіз якості спостережень, забезпечувати через локальний FTP-сервер та мережу Інтернет якісну передачу інформації з ГНСС-станції в реальному часі.

При створенні ПАК автоматизованої попередньої обробки ГНСС-спостережень було використано програмний комплекс OSTAВА_PPA [10—16], який створено при виконанні інноваційних проектів.

Комплекс реалізує ряд положень, які можуть бути сформульовані та ким чином:

- розробка має бути спрямована на підготовку даних для застосування до них алгоритмів позиціонування, а не тільки оцінку якості спостережень, як це реалізовано, наприклад, в TEQC [17];

- розроблювані методи і алгоритми повинні передбачати можливість в першу чергу виправлення аномалій, а не їх видалення з подальшої розробки — мінімізація відбракованих даних і помилкових тривог;
- розроблювані методи повинні передбачати можливість обробки одночастотних ГНСС-спостережень з використанням (по можливості) тих же принципів, що і для двочастотних даних;
- методи, що розробляються, мають бути (по можливості) застосовні без використання диференціального підходу обробки;
- має бути передбачена можливість отримання широкого спектру якісних характеристик про первинні спостереження. На основі прийнятих постулатів і отримано-го досвіду обробки спостережень для ГНСС- приймачів різних класів і виробників було встановлено, що для отримання даних з най-кращою якістю мають бути виконані такі операції [14]:
- читання текстових або бінарних форматів, прийнятих для обміну ГНСС- інформацією, таких, як RINEX [18], IONEX [19], SP3 [20] тощо;
- перевірка цілісності даних;
- виявлення аномалій кодових спостережень;
- корекція шкали часу;
- виявлення аномалій фазових спостережень;
- виявлення, оцінка і корекція фазових стрибків;
- оцінка приростів координат з використанням фазових спостережень;
- оцінка рівня шумових і багатопроменевих похибок.

Berner Software — це наукове програмне забезпечення, яке відповідає найвищим стандартам якості для геодезичних та інших додатків глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) [24]. На сьогоднішній день повністю працюють дві бернські GNSS: американська глобальна система

позиціонування GPS і російська глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС. Алгоритм обробки двочастотних даних для нових систем, таких як європейська Galileo, китайська BeiDou або японська QZSS, вже розроблений, але ще не повністю реалізований для оперативної обробки. Berner підходить для різноманітних завдань, а саме:

- швидка обробка локальних і глобальних мереж з використанням одночастотних і двочастотних GNSS спостережень;
- автоматична обробка GNSS мереж;
- обробка даних від великої кількості адресатів;
- поєднання різних типів ресиверів;
- комбінована обробка спостережень з різних ГНСС;
- Моніторинг іоносфери та тропосфери;
- Визначення орбіт супутників GNSS і LEO разом з відповідними параметрами;
- Перевірка орбіт SLR.

Bernese містить близько 100 програм, які можна логічно згрупувати в 6 частин:

1. Трансферна частина – частина, що містить програми для перенесення файлів RINEX (спостережень, навігаційних звітів, метеорологічних файлів, файлів годинника) у формат Berner і навпаки, а також різні операції з цими файлами. Інструменти RINEX дозволяють отримувати інформацію із заголовка файлу, генерувати статистику та обробляти спостереження на рівні RINEX.
2. Конверсійна частина - зібрані програми для перетворення двійкових файлів у формат ASCII і навпаки. За допомогою додаткових програм ви

можете конвертувати файли SINEX у звичайні рівняння та редагувати ці файли.

3. Орбітальна частина - частина, що містить усі програми, пов'язані з орбітами супутників і параметрами орієнтації Землі. Він включає в себе генерування внутрішнього представлення орбіт, інформацію про точні або ширококомвні ефемериди, оновлення інформації про орбіти, створення файлів точних орбіт, порівняння орбіт, перетворення параметрів орієнтації Землі з формату ITRS у формат Бернера, а також отримання інформації про полюс Землі. .

4. Частина обробки - містить основні програми обробки спостережень. Це включає попередню обробку та синхронізацію приймача (програма CODSP), генерацію вихідного файлу (програма SNGDIF), попередню обробку двочастотних вимірювань (програма MAUPRP), оцінку параметрів на основі спостережень GPS та/або ГЛОНАСС (програма GPSEST) і на основі систем нормальних рівнянь (програма ADDNEQ2).

5. Сервісна частина - містить моделювання для GNSS спостережень (програма GPSIM), а також набір інструментів для перегляду двійкових файлів спостережень, перевірки нев'язок, порівняння та редагування координат, автоматизованої обробки та багато іншого. Також можна відображати повідомлення про помилки.

6. Імітаційна частина - частина, що містить лише програму для створення моделей спостережень GPS та ГЛОНАСС на основі статистичної інформації. Загальні функції програмного забезпечення розроблені для найвищих вимог до точності:

1. Усі спостереження (код і фаза), записані за допомогою високоточних геодезичних приймачів, можуть бути оброблені.

2. Одночастотні та двочастотні дані можна обчислити за один крок обробки. Використання іоносферних моделей мінімізує вплив іоносферних затримок на координати станції та інші передбачувані параметри.
3. Дані можуть оброблятися в режимі подвійного диференціалу або в режимі PPP (режим точного позиціонування).
4. Програми оцінки параметрів можна використовувати для обробки базової лінії/сеансу/кампанії/кампанії. Багато різних комплексних рішень (наприклад, річні координатні рішення та параметри обертання Землі) використовують систему нормальних рівнянь, які можна обчислити без повторної обробки спостережень.
5. Програми обробки підтримують одночасну оцінку великої кількості різних типів параметрів.

Національна мережа опорних станцій ГНСС України включає декілька приватних мереж діючих опорних станцій. А саме: ЗАКПОС, ТНТ-ТПІ, системні рішення. Повний перелік станцій і мереж, до яких вони належать, наведено в Додатку А. Перша мережа діючих довідкових станцій в Україні – мережа ZAKPOS. ZAKPOS – служба позиціонування (Закарпатська служба позиціонування), діяльність якої спочатку поширювалася лише на територію Закарпатської області [53]. Згодом ZAKPOS стане регіональною наземною системою GNSS, повністю побудованою відповідно до європейських стандартів EUPOS [31], з метою надання даних GNSS у режимі реального часу (RTK) та поправок до них для високоточного позиціонування. Регулярні GNSS-спостереження розпочато на опорних станціях мережі ЗАКПОС 4 лютого 2009 року (35-й GPS-день, 1517-й GPS-тиждень). Розташування станцій мережі ZAKPOS станом на кінець 2017 року показано на рисунку 3.

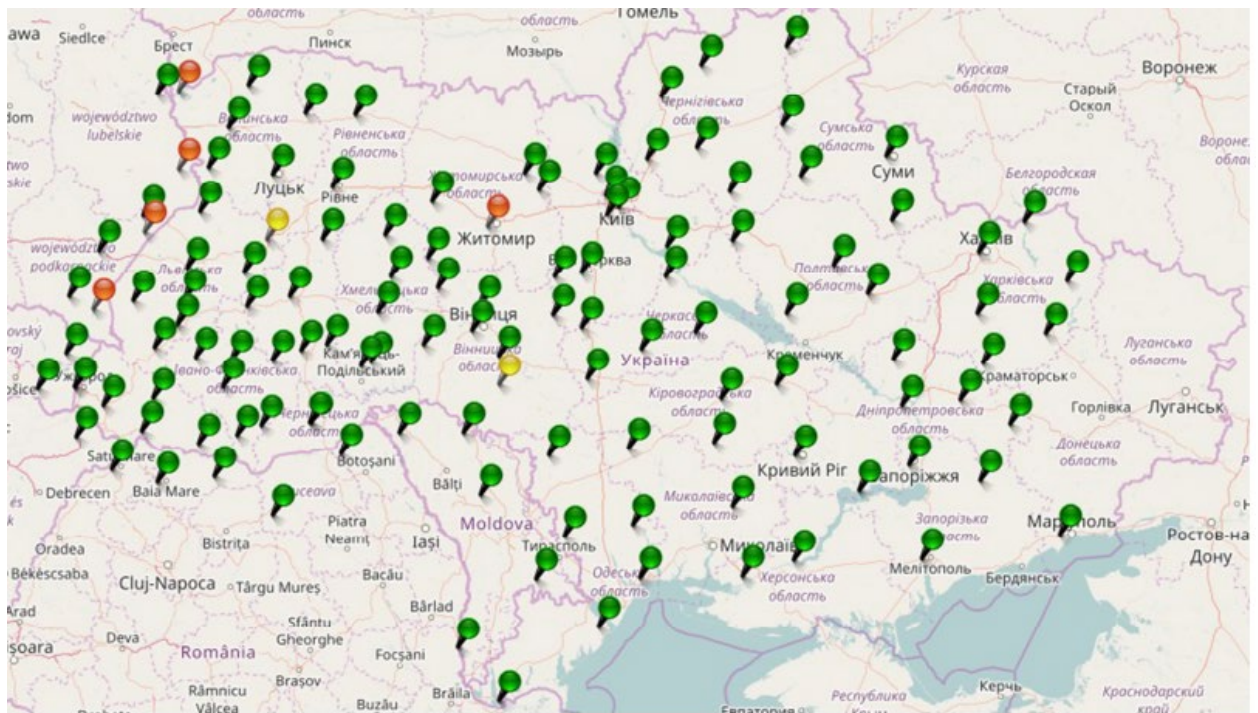


Рисунок.3.Мережа ZAKPOS станом на кінець 2017 року.

Українська постійнодіюча ГНСС-мережа складається зі станцій, що входять до державних, міжнародних та комерційних мереж (станом на 2022 р.).

- ГНСС-станції [Головної астрономічної обсерваторії НАН України](#).
- ГНСС-станції [мережі System.NET](#), спостереження яких надсилаються до EPN Операційним центром ГАО НАН України.
- ГНСС-станції [УПМ ГНСС](#), спостереження яких надсилаються до IGS та EPN Операційним центром ГАО НАН України.
- ГНСС-станції [Системи координатно-часового і навігаційного забезпечення України](#), спостереження яких надсилаються до EPN Операційним центром ГАО НАН України.
- ГНСС-станції, які вже не знаходяться під управлінням ГАО.
- ГНСС-станції, які демонтовано або зупинено.

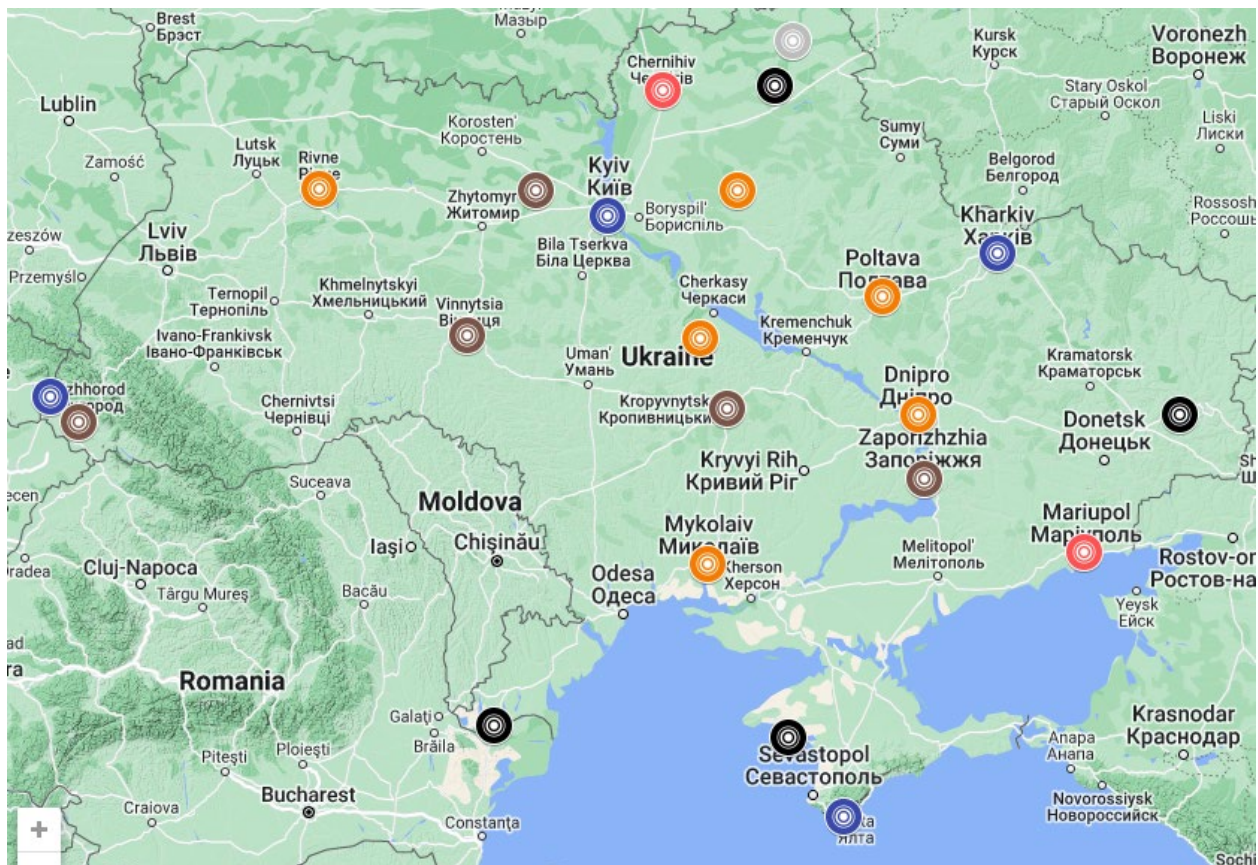


Рисунок 4. Мережа ГНСС-станцій станом на 2022 рік.

3.3 Вплив розвитку ГНСС-мереж на агросферу

Оскільки одним із головних завдань нашого дослідження є створення комбінованого рішення щодо впровадження національної системи відліку, ми детальніше розглянемо існуючі системи відліку, їх реалізацію та методику створення. Сьогодні існує три типи систем відліку: міжнародні, континентальні та національні. Загальновизнаними міжнародними системами відліку є ITRS, WGS-84 і PZ-90. Континентальні системи відліку включають NAD83 і ETRS. Крім міжнародних і континентальних систем відліку існують також національні системи відліку, які представляють собою консолідацію міжнародної і континентальної систем відліку ITRS і ETRS. Всесвітня геодезична система WGS-84, розроблена Військовим картографічним агентством Міністерства оборони США, включає параметри глобального

еліпсоїда, модель геоїда, модель поля тяжіння Землі, значення гравітаційної постійної, значення потрібні швидкість світла та інші важливі константи, необхідні для геодезичних вимірювань і навігації з використанням глобальної системи координат [118]. Система відліку ПЗ-90, створена Топографічною службою ЗС РФ без інтеграції із західними країнами, включає основні астрономо-геодезичні еталони, властивості координатної основи (параметри еліпсоїда землі, координати прикріплення), система точок, параметри зв'язку з іншими системами координат), моделі нормального та аномального гравітаційних полів Землі, локальні властивості гравітаційного поля (висоти квазігеоїда над глобальним еліпсоїдом та гравітаційні аномалії). Його координати задаються точками космічної геодезичної мережі, створеної на основі фотографічних, доплерівських, дальніх і альтиметричних спостережень геодезичних супутників ГЕОІК-1, ЕТАЛОН, ГЛОНАСС та ін. Похибка взаємного розташування точок на відстанях між ними до 10 000 км становить не більше 30 см [135]. Аналогом систем відліку WGS-84 і PZ-90 є система ITRS, розроблена Міжнародною службою обертання Землі IERS і прийнята IAU в 1991 році. Ця система відліку обертається разом із землею відповідно до її руху в просторі. ITRS не накладає обмеження обертання на горизонтальні зсуви, тобто ця величина не прив'язана до жодної конкретної тектонічної плити. У такій системі точки, розташовані на твердій поверхні Землі, мають координати, які з часом лише незначно змінюються внаслідок геофізичних впливів (тектонічних або приливних деформацій).

Європейська глобальна система відліку ETRS89 була прийнята секцією Міжнародної асоціації геодезії IAG - EUREF після першої резолюції, яка відбулася у Франції в 1990 році. ETRS89 збігається з ITRS в епоху 1989.0 і прив'язаний до стабільної частини Євразійської плити. Ця система рекомендована та використовується для представлення геодезичних пунктів у Європі. З 1989 року ETRS89 і ITRS розходяться зі швидкістю приблизно 2,5

см на рік через дрейф континентів. Сьогодні дві системи координат відрізняються приблизно на 60 см. Довідкові бази ITRF є реалізацією міжнародної глобальної довідкової системи ITRS. ITRF — це набір фізичних точок (станцій) із чітко визначеними координатами в певній системі координат, пов'язаній із ITRS. Існує чотири основні методи визначення координат ITRF: GNSS, VLBI, SLR і DORIS. Оскільки мережі обсерваторій оснащені приладами, що постійно вдосконалюються, а діапазон доступних даних з часом збільшується, ITRF постійно оновлюється. З 1988 року було створено тринадцять реалізацій ITRS, останньою з яких є ITRF2014.

IGS збирає, зберігає та розповсюджує набори даних спостережень з достатньою точністю для досягнення цілей широкого спектру наукових і інженерних застосувань і досліджень. Продукти IGS підтримують такі наукові дослідження, як вдосконалення та розширення Міжнародної служби обертання Землі (IERS), Системи відліку Землі (IERS), моніторингу деформації земної поверхні, обертання Землі, визначення орбіт наукових супутників і спостереження за іоносферою. Інший аспект полягає в тому, що продукти IGS служать для консолідації ITRF на регіональному рівні. Це досягається за рахунок чіткого поєднання регіональних або локальних мережевих рішень у форматі SINEX.

ВИСНОВКИ

У роботі описано технологію обробки GNSS-даних спостережень на опорних станціях України, прикордонних опорних станціях суміжних держав та частини станцій мережі IGS/EPN та формування зведеного каталогу їх координат:

1. Наведено узагальнені властивості мереж діючих опорних станцій України;
2. Описано технологію обробки GNSS спостережень для великої кількості опорних станцій (понад 100) методом стиснення мережі IGS/EPN та поділу на окремі блоки;
3. Описано технологію створення зведеного каталогу координат діючих реперних станцій за результатами обробки GNSS спостережень з 2015 по 2017 роки. Одночасно:

- проаналізовано великий набір часових рядів даних координат реперних станцій України для визначення їх якості в результаті змін їх значень, спричинених рухами тектонічних плит та іншими змінними факторами;

- Визначено, що більше 99% всього масиву даних має фактичну точність координат не більше 1 см; - Створено зведений каталог координат опорних станцій України в системах ETRF2000 та USK-2000.

4. Діючі опорні станції, зазначені у зведеному каталозі, можуть використовуватися для створення та оновлення топографічних карт і планів у системі геодезичних опорних координат УСК-2000, геодезичного ведення земельного кадастру та інших топографо-геодезичних робіт.

GNSS можна використовувати в поєднанні з такими програмами, як автоматичне залежне спостереження (ADS) через інтеграцію з технологією цифрового зв'язку. Такі нові програми можуть поставити додаткові вимоги до GNSS. Очікуються значні зміни у вимогах до продуктивності в областях надводної навігації для підтримки операцій від воріт до воріт і операційних

концепцій вільного польоту або вільного маршруту. GNSS також забезпечує джерело точного часу, який можна використовувати для синхронізації даних, синхронізації систем спостереження та зв'язку та керування системою. Зовнішні системи, які покладаються на цю інформацію, також можуть висувати додаткові вимоги до GNSS. Оскільки майбутня GNSS буде мультимодальною системою (тобто використовуватиметься іншими видами транспорту, ніж авіація), може знадобитися співпраця та координація між різними спільнотами користувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Доскіч С.В. Порівняння координатних розв'язків з програмних пакетів GAMIT-GLOBK і GIPSY-OASIS / С.В. Доскіч, А.О. Марко // Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Нові технології в геодезії, землекористуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні». - 2016 - С. 121-124.
2. Доскіч С. Дослідження геодинамічних впливів на зміну координат активних GNSS станцій України / С. Доскіч // Інформаційний бюлетень науковоосвітнього консорціуму ГеоГеліоАстрофізика – 2017 – С. 23-24
3. Доскіч С. Застосування програмного пакета GAMIT-GLOBK для створення регіональних комбінованих GNSS розв'язків / С. Доскіч // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - 2016. - Вип. 1. - С. 59-62.
4. Доскіч. С. Математичні принципи створення комбінованих GNSS розв'язків. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва / С. Доскіч // - 2016. - Вип. 2. - С. 79-82.
5. Доскіч. С. Оцінка точності регіонального комбінованого GNSS розв'язку / С. Доскіч // Геодезія, картографія і аерофотознімання – 2016 - Вип. 83 – С.34-42
6. Доскіч. С. Оцінка точності комбінованого розв'язку регіональної мережі GNSS станцій / С. Доскіч // Програма та тези конференції Геофорум-2016 – 2016 - С. 28-29.
7. Доскіч. С. Про реалізацію земної референцної системи в національному масштабі / С. Доскіч // Міжнародна наукова конференція Астрономічна школа молодих вчених Україна, Житомир, 20-22 травня 2015 р. Програма і тези доповідей – 2015 – С.22-23.
8. Карти України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://геомап.land.kiev.ua/geology-8.html>

9. Литвин М.О. Розробка методик і програм спільної обробки GPS-, РНДБ- і лазерних спостережень на геодинамічному майданчику / М.О. Литвин // Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук. Головна астрономічна обсерваторія НАН України. Київ, 2008.
10. Марченко О. Референцні системи в геодезії [Текст]: навч. посіб. / О. М. Марченко, К. Р. Третяк, Н. П. Ярема // — Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. — 216 с.
11. Марченко О. Оцінювання тензора швидкостей деформацій земної кори за даними GPS-спостережень у Східній Європі / О. Марченко, К. Третяк, О. Серант, Р. Висотенко // Геодинаміка. – 2011. – № 1(10). – С. 5–15.
12. Михайлов В. Основи геотектоніки: Навчальний посібник / В. Михайлов. – Київ: Видавничо-поліграфічний «Київський університет», 2002. – 168 с.
13. Навчальний сайт з географії, всесвітньої історії та історії України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://ukrmap.su/uk-g7/837.html>
14. Навчальні матеріали [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
http://pidruchniki.com/12991010/geografiya/relyef_geolopchna_budova_korisni_koralini
15. Савчук С.Г. Вища геодезія / С.Г. Савчук //: ЖДТУ – Житомир, 2005. – С.315.
16. Савчук С.Г. Встановлення вихідних координат референцних станцій мережі ZAKPOS / С.Г. Савчук, О.Я. Гринишина-Полюга // Геодезія, картографія і аерофотознімання. Вип. 72, 2009. – С. 3-13
17. Савчук С. Дослідження оптимального часового інтервалу комбінування даних GNSS спостережень для геодинаміки / С. Савчук, С. Доскіч // Матеріали VI Міжнародної наукової конференції «Геофізичні

- технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища» - 2016 – С. 247-249
18. Савчук С.Г. Побудова сучасних геодезичних референцних систем координат / С.Г. Савчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Київ, 2002. – Вип. 62. – С.47 – 59.
 19. Савчук С.Г. Моделювання параметрів референцної системи координат для території України / С.Г. Савчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Київ, 2003. – Вип. 63. – С.73 – 79.
 20. Савчук С.Г. Перша мережа активних референцних станцій в Україні ZAKPOS. Етапи встановлення та початок діяльності / С.Г. Савчук, І.І. Проданець, І.В. Калинич // Геопрофіль – Київ, 2010 – Вип. I (10). – С. 16 – 23. .
 21. Сахарний Н.Ф. Курс теоретичної механіки. Навчальний посібник. М: Вища школа. 1964. 844 с.
 22. Третяк К.Р. Дослідження періодичних змін висотного положення супутникових перманентних станцій світу / К.Р. Третяк, О.М. Смірнова, Т.М. Бределева // Геодинаміка 1(12)/2012. - С. 11-29.
 23. Центр контролю навігаційного поля України. – <http://www.gcknp.com.ua/>
 24. Altamimi Z. 2003, Discussion on How to Express a Regional GPS Solution in the ITRF [Електронний ресурс] / Z. Altamimi // Proceedings of the EUREF Symposium, Ponta Delgada, 5 June 2002, Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am main – Режим доступу до ресурсу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.474.7609>
 25. The Terrestrial Reference frame and the dynamic Earth / [Z. Altamimi, D. Angermann, D. Argus, G. Blcwitt та ін.] // EOS, Transactions, American Geophysical Union - Vol. 82, No25, June 19 – 2001 – P. 273-279.
 26. Altamimi Z. New trends for the realization of the International Terrestrial Reference System / Z. Altamimi, C. Boucher, P. Sillard // Advanced Space Research 30(2), 2002b - P. 175-184.

27. Altamimi Z., Dermanis A. The choice of reference system in ITRF formulation / Z. Altamimi, A. Dermanis // IAG Symposia, vol 137. Springer, Berlin - 2009 - P. 329– 334.
28. Altamimi Z. ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications / Z. Altamimi, P. Sillard, C. Boucher // J Geophys Res (Solid Earth) 107(10), 2002a - P. 1-19
29. Andersen P. H. Multi-level arc combination with stochastic parameters / P. H. Andersen // J. Geod., 74, 2000 – P. 531 – 551.
30. Araszkievicz A. Combining of GNSS solutions from BERNESSE and GAMIT Software [Електронний ресурс] / A. Araszkievicz, M. Figurski, K. Kroszczyński // – Режим доступу до ресурсу: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-PWAB-0031-0013/>
31. Araszkievicz A. Centre of Applied Geomatics: scientific activities in the frame of EUREF Permanent Network / A. Araszkievicz, J. Bogusz, M. Figurski, K. Szafranek // Reports on Geodesy, No. 2 (91) – 2011 - P. 75–80.
32. The RING network: improvements to a GPS velocity field in the central Mediterranean / [A. Avallone, G Selvaggi, E. D'Anastasio та ін.] // Ann. Geophys., 53(2) - P. 39–54.
33. Bähr H. Variance Component Estimation for Combination of Terrestrial Reference Frames / H. Bähr, Z. Altamimi, B. Heck // Universitätsverlag Karlsruhe Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik, 6 ISBN: 978-3-86644-206-1, 2007 – 67 p.
34. Barbarella M. The new Italian geodetic reference network (RDN): a comparison of solutions using different software packages [Електронний ресурс] / M. Barbarella, S. Gandolfi, L. Ricucci, A. Zanutta // In: Proceedings of EUREF symposium, Florence, Italy, 27–30 May – Режим доступу до ресурсу: <http://www.euref.eu/symposia/2009Florence/06-03-p-gandolfi.pdf>

35. Biagi L. Densification of IGS/EPN by local permanent networks: sensitivity of results with respect to the adjustment choices [Электронный ресурс] / L. Biagi, S. Caldera, A. Capra, C. Castagnetti, F. Sansò // – Режим доступа до ресурсу: www.euref.eu/symposia/2008Brussels/10-02-Caldera.pdf
36. Blewitt G. Effect of annual signals on geodetic velocity [Электронный ресурс] / G. Blewitt, D. Lavall'ee // J. geophys. Res., 107(B7), doi:1.1029/2001JB000570 – 2002 – Режим доступа до ресурсу: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2001JB000570>
37. GPS for real-time earthquake source determination and tsunami warning systems / [G. Blewitt, W.C. Hammond, C. Kreemer та ін.] // J. Geodesy 83 (3–4) – 2009 - P. 335–343.
38. Brockmann E. Combination of solutions for geodetic and geodynamic applications of the Global Positioning System (GPS) / E. Brockmann // Geodätisch Geophysikalische Arbeiten in der Schweiz, Schweizerische Geodätische Kommission, Vol. 55., 1996 – P. 210.
- 39.17. Boucher C. Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign [Электронный ресурс] / C. Boucher, Z. Altamimi // – Режим доступа до ресурсу: <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V8.pdf>
40. Brockmann E. Geotectonics in the Swiss Alps using GPS / E. Brockmann, R. Hug, D. Schneider, Th. Signer // EUREF Publication No. 12, Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie Band 29 – 2003 - P. 109-117.
41. Bruyninx C. Guidelines for EUREF Densifications v. 5 [Электронный ресурс] / C. Bruyninx, Z. Altamimi, A. Caporali, A. Kenyeres, M. Lidberg, G. Stangl, J.A. Torres // – Режим доступа до ресурсу: http://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/Guidelines_for_EUR_EF_Densifications.pdf
42. Belgian Report of activity in the frame of the International Association of Geodesy [Электронный ресурс] / [C. Bruyninx, V. Dehant, P. Defraigne та

- ин.] // – Режим доступа до ресурсу:
<http://www.iagaig.org/attach/5015ba0f03bf732e1543f4120f15ec9a/belgium.pdf>
43. Caldera S. GNSS permanent networks monitoring: problems and solution [Электронный ресурс] / S. Caldera // – Режим доступа до ресурсу:
<http://www.autecgeomatitica.it/wp-content/uploads/2012/06/Caldera.pdf>
44. Coulot D. Toward a direct combination of spacegeodetic techniques at the measurement level: Methodology and main issues / D. Coulot, P. Berio, R. Biancale, S. Loyer, L. Soudarin, A.-M. Gontier // J. Geophys. Res., 112, B05410, doi:10.1029/2006JB004336, 2007 – P. 1-21.
45. Chen Y. A Multi-antenna GPS System for Local Area Deformation Monitoring / Y. Chen, X. Ding, D. Huang, J. Zhu // Earth Planets Space, 52 – 2000 - P. 873-876.
46. Dach R. Bernese GPS Software Version 5.2. / R. Dach, F. Andritsch, D. Arnold, S. Bertone, P. Fridez //Astronomical Institute, University of Bern, Switzerland, 2015 – P. 825
47. Davies P. Methodology for global geodetic time series estimation: A new tool for geodynamics / P. Davies, G. Blewitt // J. Geophys. Res., Vol. 105, No. B5 – 2000 - P. 11,083-11,100.
48. Dong D.-N. Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data / D.-N. Dong, T. A. Herring, R. W. King // J. Geodesy, 72 - 1998 - P. 200–214.
49. Dong D. Anatomy of apparent seasonal variations from GPS-derived site position time series / D. Dong, P. Fang, Y. Bock, M. K. Cheng, S. Miyazaki // JGR Vol. 107, No. B4, ETG 9-1 - 2002.
50. Doskich S. Geodynamics and Troposphere research using the software GAMITGLOBK. / S. Doskich // Abstracts 23rd Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics – 2016 - P. 34-35.

51. Dow J.M. The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems / J.M. Dow, R. E. Neilan, C. Rizos // J. of Geodesy vol. 83 – 2009 - P. 191-198
52. EdEra Books [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://geography.ed-era.com/3/vnutrishnya_budova_zemli.html
31. EUPOS Technical Standards [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.eupos.org/sites/default/files/EUPOS%20TS-R23_2_0.pdf
53. EUREF Permanent Network [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.epncb.oma.be/_organisation/projects/series_sp/
54. EUREF Permanent Network Densification [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.epncb.oma.be/_densification/operationalcentres.php
55. EUREF Technical Working Group [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.euref.eu/euref_twg.html
56. GNNS мережа ROMPOS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://gnss.rompos.ro/sbc>
57. GNNS мережа України – System Solutions [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://systemnet.com.ua/ua>
51. GNNS мережа SKPOS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://skpos.gku.sk/en/>
58. GNNS мережа України – TNT-TPI [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://net.tnt-tpi.com/page>
59. GNNS мережа України – ZAKPOS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://zakpos.zakgeo.com.ua>
60. Gordon R.G. Global tectonics and space geodesy [Електронний ресурс] / R.G. Gordon, S. Stein // Science 256 (5055), 333–342. Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.1126/science.256.5055.333>.
61. Gerstl M. DOGSCS Kombination und Lösung großer Gleichungssysteme / M. Gerstl, R. Kelm, H. Müller, W. Ehrnsperger // Interner Bericht, DGFI, München, 2001.

62. International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.iers.org/IERS/EN/Home/home_node.html
63. IGS (International GNSS Service) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: http://adsc.gfz-potsdam.de/tiga/index_TIGA.html
64. IGS Products [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.igs.org/products>
65. IGS Data Centers [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.igs.org/about/data-centers>