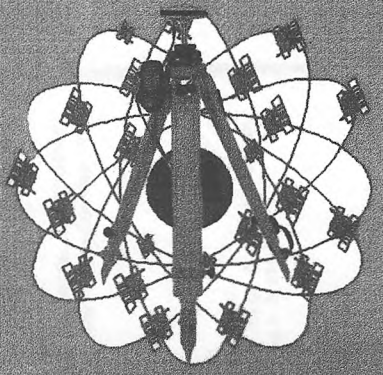
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Науково – дослідний геодезичний, топографічний і картографічний інститут (Чеська республіка)
Вігорлатска обсерваторія і Астрономічна обсерваторія на Колоніцком плато (Словаччина)
Група енергетичних компаній РЕНЕР
Головне управління Держгеокадастру у Закарпатській області
Управління ДСНС України у Закарпатській області
Державне підприємство «Закарпатський геодезичний центр»
Національний природний парк «Синевир»

# «НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ, ЛІСОВПОРЯДКУВАННІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ»

**МАТЕРІАЛИ**
**VIII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО – ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

*6-8 жовтня 2016 р.*
*УЖГОРОД-СИНЕВИР*



УЖГОРОД-2016

**УДК 630+528.4(063)**
**ББК П3+Д143л0**
**М34**

**Матеріали VIII-ї міжнародної науково-практичної конференції «НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ, ЛІСОВПОРЯДКУВАННІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ»** *Секції: Геодезія, картографія та кадастр. Лісокористування та природокористування (6-8 жовтня 2016 року). – Ужгород: Видавництво «ФОП Сабов А.М.», 2016. – 394 с.*

**ISBN 978-617-7344-28-4**

*У збірнику матеріалів конференції представлені роботи, які відображають загальнотеоретичні, методологічні та практичні проблеми та дослідження у галузі вивчення земної рефракції, рухів земної поверхні, вищої геодезії, інженерної геодезії, картографії, аерофотогеодезії, фотограмметрії, геоінформатики, кадастру, правових відносин в галузі землекористування лісівництва, заповідної справи, раціонального природокористування.*

*Рекомендується для науковців академічних і галузевих установ, викладачів, наукових співробітників вищих навчальних закладів, аспірантів і студентів та широкого кола громадськості.*

*Редакційна колегія:*

*доц., к.т.н. І.Калинич (відповідальний редактор),*
*доц., к.б.н. А. Мигаль (заступник відповідального редактора),*
*проф., д. т. н. С. Савчук, проф., д.ф.-м.н. С.Поп, проф., д. т. н. Л. Перович, проф., д. т. н. Н. Каблак,*
*проф., д.ф.-м.н. В. Дробинич, проф., д.с-г. н. Г. Гриник, доц., к.с-г.н. В. Кічура,*
*доц., к.б.н. Л. Потіш, доц., к.н.д.у. В. Пересоляк*

*технічний редактор М. Р. Ничаий*

*відповідальний за випуск: к.б.н. Л. Потіш*

Матеріали подано в авторській редакції.
Відповідальність за зміст поданих матеріалів та точність наведених даних несуть автори.

***Рекомендовано до друку Редакційно-видавничою радою ДВНЗ «Ужгородський національний університет» Протокол № 4 від 27 вересня 2016 р.***

***Адреса редакції:***
*Ужгород 88000, вул. Університетська,14*
*Географічний факультет УжНУ*
*тел./факс (0312)640354*

© Ужгородський національний університет, 2016

## ВСТУПНЕ СЛОВО

Виконуючи ухвалу VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні», збираємось в мальовничому краї України – с. Синевирська Поляна на базі Національного природного парку «Синевир», щоб почути про нові досягнення наукової думки в галузі дослідження Землі.

Співорганізаторами нашої конференції виступили ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Науково – дослідний геодезичний, топографічний і картографічний інститут (Чеська республіка), Вігорлатска обсерваторія і Астрономічна обсерваторія на Колоніцком плато (Словаччина), Група енергетичних компаній РЕНЕР, Головне управління Держгеокадастру у Закарпатській області, Управління ДСНС України у Закарпатській області, Державне підприємство «Закарпатський геодезичний центр», Національний природний парк «Синевир». Співголовами конференції є Мирослава Лендьел - проректор з науково-педагогічної роботи, д.п.н., доц., (м. Ужгород) та Іван Калинич – декан Географічного факультету ДВНЗ «УжНУ, к.т.н., доц. (м. Ужгород).

До складу Організаційно-наукового Комітету ввійшли відомі науковці та керівники державних структур з Чехії, Словаччини та України:

| | |
|---|---|
| **Микола Дербак** | директор НПП «Синевир»,к.ф.н.(смт. Міжгір'я) |
| **Карел Радей** | директор НДІГТК, к.ф.-м..н. (м. Здіби, Чехія); |
| **Ігор Кудзей** | директор Віхорлатської обсерваторії і Астрономічної обсерваторії на Колоніцком плато, к.ф.-м.н.., (м. Сніна, Словаччина) |
| **Роман Гудак** | начальник управління ДСНС України у Закарпатській області, полковник служби цивільного захисту |
| **Іван Проданець** | директор ДП «Закарпатгеодезцентр», (м. Мукачево); |
| **Андрій Ганзел** | директор ПП «Комерцконсалдінг»(м. Ужгород); |
| **Богдан Сеневич** | головний інженер проекту (м. Ужгород) |
| **Людвиг Потіш** | завідувач кафедри лісівництва, к.б.н., доц.,( м. Ужгород) |
| **Степан Поп** | завідувач кафедри географії та раціонального природокористування, д.ф.-м.н., проф. ( м. Ужгород) |
| **Ярослав Куценко** | директор ДП ««Науково-дослідний центр екологічного маркетингу та інжинірингу» НАН України, к.ф.-м.н, |
| **Юрій Тюх** | (м. Ужгород); заступник директора з науково – дослідної роботи НПП «Синевир»,к.б.н.(смт. Міжгір'я) |
| **Степан Савчук** | професор НУ "Львівська політехніка", д.т.н..,(м. Львів) |
| **Владислав Пересоляк** | завідувач кафедри землевпорядкування та кадастру к.н.з.д.у., доц.(м. Ужгород); |
| **Наталія Каблак** | професор кафедри містобудування, д.т.н.(м. Ужгород); |
| **Ірина Фекета** | доцент кафедри географії , к.б.н., (м. Ужгород); |
| **Марія Ничвид** | старший викладач кафедри землевпорядкування та кадастру, (м. Ужгород), секретар |

Власне цим Комітетом проведена значна за обсягом робота, щоб проінформувати наукову громаду про мету конференції, залучити доповідачів та створити добрі умови для спілкування та обміну досвідом.

*Основними напрямками конференції* є:

1. Сучасні GPS- та GIS-системи і технології;
2. Технічні, законодавчі, нормативні та кадрові проблеми землеустрою та кадастру;
3. Правове регулювання геодезичних, кадастрових та геоінформаційних систем;
4. Освіта в географії, геодезії, картографії та землевпорядкуванні; перспективи розвитку топографо-геодезичної і картографічної діяльності в Україні;

...33+551.51

...Ф. Д. Заблоцький*, Н.І.Каблак**
...вищої геодезії та астрономії, Національний університет «Львівська політехніка», ...Бандери 12, Львів, Україна, 79013, тел. +38(032)2582181, ел. пошта ssa-...net.lviv.ua
...вищої геодезії та астрономії, Ужгородський національний університет, пл. На... Ужгород, Україна, 88000, ел. пошта nataliya.kablak@gmail.com

## ...ПОРІВНЯННЯ ЗЕНІТНИХ ТРОПОСФЕРНИХ ЗАТРИМОК ЗА РІЗНИМ ОПРАЦЮВАННЯМ GNSS ДАНИХ

...дослідження двох принципово різних стратегій опрацювання GNSS даних та застосу... різних програмних продуктів дозволили виявити реальну точність визначення зенітних тро... затримок, що дозволяє вважати отримані результати більш достовірними у порівнянні ...результатами, отриманими іншими дослідниками. Отримані оціночні величини ZTD з регіональ... мережі перманентних GNSS-станцій західної транскордонної зони України можуть стати цін... інформацією в задачах числового прогнозування погоди.

...слова: GNSS - метеорологія; зенітна тропосферна затримка; опрацювання GNSS даних; ...прогнозування погоди.

**...проблеми.** Атмосфера ...із основних джерел похибок, ...обмежують точне GNSS пози... [5]. Оскільки GNSS-сигнали пе... різні шари атмосфери, ...з ними, то це викликає зміну ...радіосигналу, а також скрив... траєкторії (рефракцію). В ре... виникають помилки в пози... у декілька метрів. Атмосфер... на GNSS-сигнали пов'язаний, з ...тому впливом іонізованої частини (іоносфери) з іншого - впливом ...атмосфери (стратосфери і ...). Оскільки іоносфера є дис... середовищем, то викликана нею ...GNSS-сигналів може бути прак... усунена завдяки лінійній комбінації ...цих сигналів. Особливістю ...атмосфери є те, що вона не є ...середовищем для радіохвиль з ...меншою, ніж 15 ГГц. У такому ...склад нейтральної атмосфери не ...був усунений за допомогою ...комбінації частот як іоносферна ...і тому повинен бути змодельо... або визначеним у процесі ...та аналізу результатів GNSS-...

...як складова нейтральної ...має домінуючий вплив на ...величини затримки GNSS-сигналу, тому цю величину називають здебільшого тропосферною затримкою. Величина тропосферної затримки може бути оцінена з одної сторони за даними атмосферних радіозондів, радіометрів водяної пари, лазерних локаційних систем (лідарів), а також числових моделей погоди, а з другої - за даними наземних мереж активних GNSS-станцій, включаючи технологію радіозатемнень (GNSS-супутник – низькоорбітальний супутник). Саме задачі оцінювання тропосферних затримок із спостережень на перманентних GNSS-станціях привело до появи нового наукового напряму – GNSS-метеорології. Такі задачі стали надзвичайно актуальними з появою наземних геодезичних GNSS мереж, що складаються з активних референцних станцій (з точно відомими координатами), і які забезпечують довгостроковий GNSS моніторинг атмосфери. Одною із основних проблем у процесі використання результатів моніторингу є достовірність отриманих оцінок зенітних тропосферних затримок.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За останні декілька десятків років значні зусилля науковців були спрямовані на вирішення проблеми визначення тропосферних параметрів, особливо, вмісту водяної пари в атмосфері, із опрацювання GNSS-даних. Ці параметри

отримуються завдяки численним тропосферним затримкам на похилих трасах GNSS спостережень (STD), приведених до зенітного напрямку з кожної станції до всіх видимих супутників в один момент часу [6]. Отримана в такий спосіб повна зенітна затримка (ZTD) віддзеркалює умови поширення GNSS-сигналів якби в конусі тропосфери. Діаметр основи цього конуса залежить від кута відсічки на станції спостережень і приблизно відповідає радіусу в 25-50 км від зенітного напрямку на висоті 5 км [2].

Отримані величини ZTD традиційно розділяють на дві складові: зенітну гідростатичну затримку (ZHD або суху) і зенітну вологу (ZWD). Перша обумовлена дією сухого повітря і становить за величиною не менш, ніж 90% від повної тропосферної затримки. Друга складає приблизно 10% від ZTD. Саме ця складова обумовлена вмістом водяної пари та її розподілом у тропосфері. Гідростатична складова ZHD змінюється відносно повільно в часі і може бути достатньо точно оцінена [7], в той час як волога складова ZWD змінюється не прогнозовано як у просторі, так і в часі, а тому її складно змоделювати не лише через мінливість водяної пари, але й через значні похибки визначення її із безпосередніх метеорологічних вимірювань [18].

Маючи повну зенітну тропосферну затримку ZTD із GNSS вимірювань та обчисливши гідростатичну складову ZHD, зенітну вологу складову ZWD визначають відніманням значень ZHD від ZTD. Отримана величина ZWD характеризує інтегральний вміст водяної пари в тропосфері (IWV), від якого досить легко переходять до осаджуваної водяної пари (PWV) [1]. Обидві величини IWV і PWV відображають загальну кількість води у вертикальному стовпі повітря, яка могла б випасти на земну поверхню [16].

Існують різні методи, що дозволяють контактно або дистанційно вимірювати окремі параметри атмосфери, у тому числі і вміст водяної пари. Використання майже всіх методів пов'язане з організаційними труднощами і значними матеріальними затратами [9,10]. Зазначене стосується і використання GNSS-сигналів, оскільки створення та експлуатація мережі активних GNSS-станцій є досить затратним проектом. Якщо б він був направлений лише на вирішення задач GNSS-метеорології, то його реалізація не мала б особливих переваг порівняно з іншими методами, за винятком безперервності вимірювань і незалежності від погодних умов.

Оскільки мережі активних GNSS-станцій створюються, насамперед, з метою призначення GNSS-послуг для координатного забезпечення топографо-геодезичних і кадастрових робіт як у режимі реального часу, так і пост-опрацювання, то повторне використання, практично, тих самих GNSS-послуг в задачах GNSS-метеорології є значно менш затратним [17]. Такими послугами є власне результати вимірювань на GNSS-станціях у вигляді «сирих» даних і готових продуктів – тропосферних затримок. Отже, оцінювання параметрів тропосфери можна проводити двома шляхами:

- із опрацювання «сирих» даних GNSS-вимірювань, отриманих з мережі активних референцних станцій;
- за готовими тропосферними затримками, отриманими з мережевого програмного забезпечення, під управлінням якого функціонують такі мережі.

Перший підхід надає більше степенів свободи для дослідника, але вимагає спеціалізованого програмного забезпечення. Наявність тропосферних затримок у другому випадку знімає проблему щодо програмного забезпечення, але при цьому виключає можливість втручання у процес визначення таких затримок шляхом використання конкретних моделей, форматів даних тощо.

Вважається, що оцінка точності ZTD в GNSS-метеорології знаходиться теоретично в межах від 3 до 10 мм.

Одним із завдань GNSS-метеорології є також використання ZTD з регіональної мережі перманентних GNSS-станцій для числового прогнозування погоди (NWP) [1]. Відповідно, стратегія аналізу GNSS-даних повинна забезпечувати такі оцінки ZTD, які відповідають їхнім вимогам [3]. Вимоги NWP до оцінки точності ZTD для прогнозування поточної погоди складають

від 6 до 30 мм, що є значно меншими в порівнянні з вимогами GNSS-метеорології [11].

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є виявлення достовірних оцінок зенітних тропосферних затримок (ZTD) за даними GNSS-спостережень на активних референцних станціях західної транскордонної зони України.

**Виклад основного матеріалу.** Визначення величин ZTD традиційно базувалося на аналізі даних в режимі пакетного мережевого розв'язку з використанням методу найменших квадратів і способу спостереження, що опирається на утворення подвійних різниць (DD) [8]. Абсолютний метод точного позиціонування (PPP) [12], для реалізації якого був необхідний доступ до точних поправок супутникових годинників разом з прогнозованими орбітами, практично не використовувався. Проте в останні роки цих два різних підходи аналізу GNSS-даних почали інтенсивно розроблятися саме у GNSS-метеорології.

В даній статті порівнюються два різні підходи до опрацювання GNSS-спостережень, а саме DD і PPP у їх програмних реалізаціях: Bernese GNSS Software та Alberding GNSS Status Software, відповідно.

*Програмне забезпечення.* Програмний пакет Bernese використовується, здебільшого, для опрацювання великих мереж перманентних GNSS станцій. При його застосуванні невідомими є наступні величини: координати станцій, фазові неоднозначності, значення ZTD і ZWD, IPWV та горизонтальні градієнти тропосфери. Оскільки координати станцій тісно корелюються з величинами ZTD, то отримані значення координат (перший крок стратегії аналізу DD) виправляються в подальшому на вплив величин ZTD (другий крок) в режимі близькому до реального часу. На додаток до цього створено кілька процедур для підготовки до аналізу і контролю якості та цілісності оцінок ZTD у режимі близькому до реального часу.

З точки зору стратегії опрацювання GNSS-даних метод PPP є популярним завдяки створенню у режимі реального часу (RT) Міжнародною службою GNSS (IGS) та іншими організаціями таких продуктів, як точні орбіти супутників і поправки годинників. Даний метод забезпечує таку ж точність як і мережеві DD розв'язки, але він є більш гнучким, оскільки дані спостережень кожної станції опрацьовуються окремо. Пересилання даних GNSS-спостережень і продуктів здійснюється в режимі RT у форматах, визначених Спеціальним комітетом 104 (SC104) Технічної комісії з радіозв'язку для морських служб (RTCM) (http://www.rtcm.org/), використовуючи мережевий зв'язок через Інтернет-протокол (NTRIP). Сервіс реального часу IGS і пов'язані з ним центри аналізу роблять RT орбіти і поправки годинників доступними продуктами для GNSS спільноти з грудня 2012 року. Ці продукти містять бортові ефемериди і поправки до орбіт і годинників всіх доступних GPS/GNSS супутників. IGS разом з RTCM-SC104 визначив різні формати для поширення в RT режимі даних спостережень і поправок. На даний час прийнятним форматом повідомлень даних спостережень є формат RTCM-3, а щодо бортових орбіт і поправок – формат RTCM-SSR.

Саме наявність RT продуктів у вигляді повідомлень RTCM-SSR і потоків даних GNSS-спостережень дозволяє використовувати стратегію PPP.

Програмний пакет Alberding GNSS Status Software [13] використовує потоки вихідних даних референцних GNSS-станцій в режимі реального часу та підхід PPP опрацювання для визначення величин ZTD кожної станції спостережень (https://www.alberding.eu/en/GNSSStatus.html). Даний пакет базується на програмному модулі ALBERDING EURONET і використовує додаткові зовнішні програмні компоненти RT орбіти і поправки годинників: RTCM3EPH, IGS01, CLK11.

Таким чином визначення ZTD можна проводити у режимі реального часу використовуючи дані спостережень і продукти RT. При цьому постає питання щодо різних оцінок ZTD, викликаних використанням різних стратегій аналізу даних, а, відповідно, появою різних джерел похибок, які можуть впливати на точність GNSS-оцінок ZTD.

Так, наприклад, при застосуванні стратегії PPP значення ZTD є більш чутливими до радіальної складової похибки орбіти, тоді як для стратегії DD вони є більш чутливими до тангенціальної складової похибки орбіти.

Що стосується іоносферної затримки, то її величина першого порядку усувається за допомогою лінійної комбінації вимірювань на двох і більше частотах. Проте, залишається ще деякий ефект від членів вищого порядку цієї затримки, особливо в періоди високої сонячної активності.

Фіксування цілочислових фазових неоднозначностей підвищує, як відомо, точність координат станції спостереження. У стратегії DD завдяки методичному усуненню цілого ряду похибок легше визначати і виправляти такі цілі неоднозначності, а при не-різницевих спостереженнях не було можливості фіксувати число фазових неоднозначностей до недавнього часу. На сьогоднішній день були проведені лише окремі дослідження (Deutsches GeoForschungsZentrum), направлені на вивчення впливу розв'язків неоднозначності на оцінки ZTD, що проводились на основі RT-PPP.

Конфігурація і характеристики програмних пакетів, які використовувались в даній статті, приведені в табл. 1.

*Таблиця 1*

**Конфігурація програмних пакетів NRT-DD і RT-PPP**

| Опція | Програмне забезпечення | |
|---|---|---|
| | Bernese GNSS software | Alberding GNSS Status Software |
| Використання GNSS | GNSS | GNSS |
| Введення «сирих» даних | RINEX | RTCM-3 |
| Введення орбіт/годинників | CODE Ultra Rapid | RTCM3EPH |
| Формат поправок до орбіт/годинників | Hi/Hi | CLK91 |
| Поправки фазового центру приймача/супутника | Так/Так | Так/Так |
| Розв'язування неоднозначності | Так | Так |
| Апріорна модель ZHD | Saastamoinen з NMF | Saastamoinen з VMF1 |
| Тропосферна функція відображення | Wet Niell | VMF1 |
| Інтервал на виході<br>Величини ZTD | 30сек<br>10 хв. усереднення | 1сек<br>15 хв. усереднення |
| Величини IPW | Так | Так |

*Тропосферні продукти.* Центр аналізу SGO (Satellite Geodetic Observatory) в Угорщині проводить оперативне опрацювання даних GNSS-спостережень програмним пакетом Bernese GNSS software із більш як 100 станцій з Угорщини, України, Румунії, Словаччини та сусідніх країн. Одним із пріоритетних напрямків цього опрацювання є отримання тропосферного продукту ZTD на основі годинних наборів GNSS-даних.

В рамках Програми транскордонного співробітництва Угорщина-Словаччина-Румунія-Україна 2007-2013 був реалізований проект Space Emergency System - SES (HUSKROUA/1101/252) для моніторингу небезпечних погодних явищ в Карпатському регіоні за даними спостережень з мережі GNSS-станцій [15]. Така мережа була обрана з метою просторового охоплення Карпатського регіону з акцентом на Borsod-Abaúj-Zemplén область (Угорщина), регіон Prešov (Словаччина), Maramures county (Румунія) і Південно-Західну частину України (Закарпатська, Івано-Франківська і частина Львівської області, рис.1).

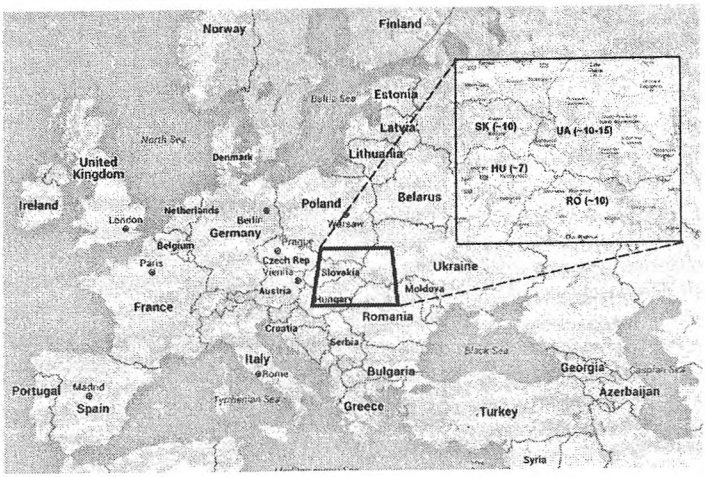



*Рис. 1. Схематичне розташування GNSS станцій в Угорщині, Україні, Румунії і Словаччині*

З метою отримання просторово-часового розподілу водяної пари над зазначеним регіоном на основі зенітних тропосферних затримок в рамках проекту SES було розроблено та апробовано програмне забезпечення ALBERDING GNSS STATUS Software. Одним із тропосферних продуктів цього програмного забезпечення є часові ряди ZTD від майже 40 GNSS станцій, що включені у проект SES.

Основні дані про тропосферні продукти, що отримуються в режимах реального часу (RT-PPP ALBERDING GNSS STATUS Software) і близькому до реального часу (NRT-DD Bernese GNSS software) приведені в табл. 2.

*Таблиця 2*

**Тропосферні продукти, оцінені з використанням GNSS програмного забезпечення SGO і проекту SES**

| Тип | Програмне забезпечення | Запізнення | Продукт | Інтервал усереднення |
|---|---|---|---|---|
| **NRT** | Bernese GNSS Software v.5.2 | 15 min | ZTD, ZWD, Gradients, | 30 min |
| **RT** | ALBERDING GNSS STATUS SOFTWARE | real time | ZTD, IPVW | 15 min |

З метою порівняння були вибрані дані ZTD, отримані зазначеними вище програмними пакетами за період лютий-березень 2016 року (32-91 GPS Day). Критерієм вибору була максимальна кількість даних на кожній станції спостережень за вказаний період, що сягала 2880 значень. Всього для порівняння було вибрано 17 GNSS-станцій. Для кожної станції були побудовані графіки зміни ZTD за вказаний період спостережень, а також часова зміна різниць ZTD, отримана двома програмними пакетами. Як приклад, на рис. 2 показано для станції STRY у графічному вигляді ряди значень ZTD, а на рис.3 - різниці ZTD.

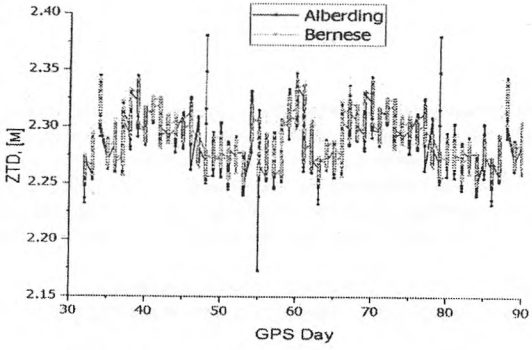



*Рис. 2. Біжучі величини ZTD на станції STRY*

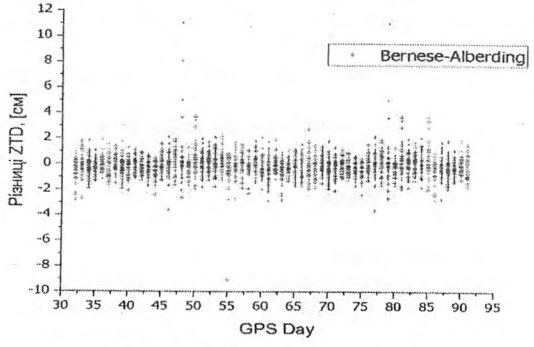



*Рис. 3. Біжучі різниці ZTD на станції STRY*

За результатами порівнянь були обчислені середні значення різниць та їх середньоквадратичні відхилення для кожної станції. Отримані значення наведені у табл. 3.

Отже, за результатами порівнянь можна стверджувати, що використання різних стратегій опрацювання GNSS-даних не вносить суттєвого впливу на точність визначення зенітних тропосферних затримок. Отримані оцінки в 1-2 см цілком задовольняють вимоги до отримання зазначеного продукту.

Для отримання додаткових і незалежних оціночних даних нами також були використані ще два додаткових програмних продукти, що опираються на утворення подвійних різниць (DD): програмний пакет GAMIT/GLOBK [4] та програмний модуль Atmosphere App відTrimble Pivot Platform.

Наступним кроком наших досліджень було порівняння зенітних тропосферних затримок, отриманих від чотирьох програмних продуктів за місячний період 23.02-23.03 2016 року з інтервалом щопівгодини.

*Таблиця 3*

**Середні значення і стандартні відхилення (σ) порівняння зенітної тропосферної затримки**

| Станція | Середнє, [см] | σ, [см] |
|---|---|---|
| **BAIA** (Румунія) | 1.3 | 4.2 |
| **DEBR** (Угорщина) | 1.6 | 2.3 |
| **FUZE** (Угорщина) | 1.4 | 2.3 |
| **MISC** (Угорщина) | 1.9 | 2.3 |
| **MUKA** (Україна) | -0.2 | 2.3 |
| **NYL2** (Угорщина) | -0.2 | 3.1 |
| **ORAD** (Угорщина) | 2.2 | 2.6 |
| **PUSP** (Угорщина) | 1.7 | 2.3 |
| **RJNT** (Україна) | 0.6 | 2.6 |
| **SALG** (Угорщина) | 1.7 | 2.3 |
| **SAMB** (Україна) | 0.1 | 2.6 |
| **SATU** (Румунія) | 1.4 | 2.3 |
| **SKOL** (Україна) | 0.3 | 2.9 |
| **STRY** (Україна) | 0.1 | 2.4 |
| **SULP** (Україна) | -0.1 | 2.5 |
| **VASA** (Румунія) | -0.2 | 2.3 |
| **VRHV** (Україна) | 0.1 | 2.8 |

Для порівняння було вибрано значення тропосферних затримок із 10-ти станцій:

1. Із системи моніторингу атмосфери **Alberding GNSS StatusSoftware**(ZTD1);
2. Із системи моніторингу атмосфери **AtmosphereApp** (ZTD2);
3. Із програмного пакету **GAMIT_GLOBK** (ZTD3);
4. Із програмного пакету **Bernese** (ZTD4).

За результатами порівнянь були обчислені статистичні характеристики для кожної станції. У табл. 4 наведені усереднені результати.

*Таблиця 4*

**Статистичні характеристики порівняння зенітної тропосферної затримки із 4-ох програмних пакеті**

| Параметр, [см] | ZTD1-ZTD2 | ZTD1-ZTD3 | ZTD1-ZTD4 | ZTD2-ZTD3 | ZTD2-ZTD4 | ZTD3-ZTD4 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Середнє | 0.5 | -0.6 | 0.2 | -1.2 | -0.2 | 0.2 |
| Макс. | 2.0 | 1.8 | 1.2 | 3.1 | 4.7 | 2.1 |
| Мін. | -4.3 | -3.5 | -2.9 | -1.2 | -1.1 | -2.8 |
| σ | 2.1 | 0.7 | 0.8 | 2.0 | 2.3 | 0.6 |

Аналізуючи результати обчислень можна сказати, що середні значення різниць лише в одному випадку (ZTD2-ZTD3) перевищують 1 см, у всіх інших випадках є менш

**Висновки та рекомендації.**

В останні роки у GNSS-метеорології інтенсивно почали використовуватися два різних підходи аналізу GNSS-даних, а саме режим пакетного мережевого розв'язку з використанням методу найменших квадратів і способу спостереження, що опирається на утворення подвійних різниць (DD) та використання потоків вихідних даних референцних GNSS-станцій в режимі реального часу на основі абсолютного методу спостережень (підхід PPP). За результатами порівнянь між двома типами програмного забезпечення, що реалізують ці підходи, були обчислені середні значення різниць (біля 1 см) та їх середньоквадратичні відхилення (біля 2 см) для кожної станції.

шими. Середнє квадратичне відхилення знаходиться у межах 0.6 – 2.3 см.

Усереднені місячні результати порівнянь між 4-ма програмними продуктами із 10-ти GNSS-станцій показують, що середні значення різниць не перевищують 1 см, а їх середньоквадратичні відхилення знаходяться в діапазоні 0.6- 2.3 см.

Для використання в сфері оперативного числового прогнозування погоди (NWP) та наукастингу обидві стратегії аналізу GNSS даних забезпечують такі оцінки ZTD, які відповідають вимогам GNSS-метеорології.

Враховуючи сучасні можливості отримання такого GNSS-продукту як вміст водяної пари в тропосфері на мережі супутникових станцій України, ми рекомендуємо відповідним службам і, в першу чергу Українському гідрометцентру, використовувати цей продукт для оперативного числового прогнозування погоди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ


1. Bevis, B. G., S. Bussinger, T. A. Herring, C. Rocken, R.A. Anthes, and R.H. Ware, GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning System, J. Geophys. Res., 1992, **97**, 15787-15801.
2. Böhm J., Niell A., Tregoning P., Schuh H. Global mapping function (GMF): a new empirical mapping function based on numerical weather model data. Geophys. Res. Lett., 2006, 33:L07304.
3. Dousa J, Vaclavovic P. Real-time zenith tropospheric delays in support of numerical weather prediction applications. Advances in Space Research. 2014, Vol 53, No 9, pp 1347-1358.
4. Herring, T., King, R. W., Floyd, M.A., McClusky, S. C. GAMIT Reference Manual – GPS Analysis at MIT – Release 10.6, Dep. of Earth, Atm. and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, USA, 2015.
5. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Wasle, E. GNSS: Global Navigation Satellite Systems: GPS, GIONASS,Galileo, and More, ISBN-10: 3211730125, Springer, Wien, 2008.
6. Niell A. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. J. Geophys. Res., 1996, 101(B2):3227-3246.
7. Saastamoinen, J. Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging satellites, The use of artificial satellites for geodesy Geophys.Monogr. Ser., 1972, 15, 247-251.
8. Seeber, G. N. Satellite geodesy: foundations, methods, and applications ISBN-10: 3110175495, Walter de Gruyter, 2003
9. Vedel H., Huang X.-Y. Impact of ground-based GPS data on numerical weather prediction. J. Met. Soc. Japan, 2004, 82(1B):459–472.
10. Vedel, H., Mogensen, K. S., and Huang X. Calculation of zenith delays from meteorological data comparison of NWP model, radiosonde and GPS delay
11. Yuan, L. L., R. A. Anthes, R. H. Ware, C. Rocken, W. D. Bonner, M. G. Bevis, and S. Businger. Sensing Climate Change Using Global Positioning System, J. Geophys. Res., 1993, **98**, 14925-14937.
12. Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., Webb, F. H. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, J Geoph. Res., 1997, 102, 5005-5018.
13. Alberding GNSS Status Software: http://194.42.206.27/cgi-bin/beacon.cgi?mod=show_map&lang.
14. Global Forecast System (GFS): https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forcast-system-gfs.
15. SES Project: http://www.meteognss.net/
16. Заблоцький Ф.Д. GNSS-метеорологія: навчальний посібник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. - 96 с.
17. Методи побудови регіональних моделей атмосферної затримки для застосування RTK технологій: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.24.01 / Каблак Наталія Іванівна; Київський національний університет будівництва і архітектури. – К., 2014. – 38 с.
18. Каблак Н.І., Савчук С.Г. Дистанційний моніторинг атмосфери // Косм. Наука і технологія. -2012. – т.18, №2. С.20-26.



S.Savchuk, F.Zablotskyi, N.Kablak


**COMPARISON OF ZENITH TROPOSPHERIC DELAYS BY THE DIFFERENT PROCESSINGS OF GNSS DATA**


*The realized studies of two fundamentally different processing strategies GNSS data revealed the real accuracy of the zenith tropospheric delay, which allows considering the results more reliable in comparison with results obtained by other researchers. Estimated values of ZTD obtained from a regional network of permanent GNSS stations of the western cross-border zone of Ukraine can become valuable information in problems of numerical weather prediction.*



С.Савчук, Ф.Заблоцкий, Н.Каблак


**СРАВНЕНИЕ ЗЕНИТНЫХ ТРОПОСФЕРНЫХ ЗАДЕРЖЕК ПО РАЗНЫХ ОБРАБОТКАХ GNSS ДАННЫХ**


*Проведенные исследования двух принципиально различных стратегий обработки GNSS данных позволили выявить реальную точность определения зенитных тропосферных задержек, что разрешает считать полученные результаты более достоверными в сравнении с результатами, полученными другими исследователями. Полученные оценочные величины ZTD с региональной сети перманентных GNSS станций западной трансграничной зоны Украины могут стать ценной информацией в задачах численного прогнозирования погоды.*