

ISSN 0130-1039

ГЕОДЕЗІЯ, КАРТОГРАФІЯ І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

МІЖВІДОМЧИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК



72'2009

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

**ГЕОДЕЗІЯ,
КАРТОГРАФІЯ
І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ**

МІЖВІДОМЧИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Видається з 1964 р.

Випуск 72

Відповідальний редактор – проф., д-р техн. наук К.Р. Третяк

Львів
Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”
2009

ЗМІСТ

ГЕОДЕЗІЯ

<i>Савчук С. Г., Гринишина-Полюга О.Я.</i> Встановлення вихідних координат референцних станцій мережі ZAKPOS	3
<i>Савчук С.Г., Задемленюк А.В.</i> Можливості використання технології RTK у Львівській області для задач земельного кадастру	14
<i>Каблак Н.</i> Сучасні підходи до визначення та використання тропосферних затримок GNSS-сигналів.....	22
<i>Двуліт П.Д., Голубінка Ю.І.</i> Порівняльна характеристика визначення висот квазігеоїда території України з використанням моделей геоїда/квазігеоїда та гравітаційного поля Землі	27
<i>Янків-Вітковська Л.М.</i> Прогнозування впливу іоносфери на часові зміни координат перманентних GPS-станцій	35
<i>Пряха Б.</i> Означення суми, різниці та добутку випадкових величин	41
<i>Терещук О.</i> Сучасні супутникові технології у дослідженні геодинамічних процесів	49
<i>Тарасенко М.І., Тищенко А.Г.</i> Методика визначення технічних параметрів електронних тахеометрів під час роботи у безвідбивачевому режимі	54
<i>Казаченко Д.А.</i> Можливості супутникових технологій при побудові екомережі Харківської області	62

КАРТОГРАФІЯ І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

<i>Глотов В.М., Смолій К.Б.,</i> Априорна точність складання фронтальних планів методом сумісного використання лазерного сканування та наземного цифрового знімання.....	65
<i>Колб І., Процик М.</i> Методика автоматичного виділення структурних ліній рельєфу з растрових ЦМР, створених за даними лазерного сканування	69
<i>Почкін С.</i> Оцінка радіометрії аерокосмічних зображень з використанням лінійної моделі з ваговими характеристиками	75
<i>Орещенко А.В.</i> Способи програмної реалізації тривимірних реалістичних картографічних моделей.....	82

КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

<i>Перович Л.М., Петришин А.</i> Ринок земель у період фінансової та економічної кризи (на прикладі Львівського регіону).....	91
<i>Перович Л.М., Винарчик Л., В.</i> Кадастровий моніторинг земель.....	97
<i>Губар Ю., Вовк А.</i> Дослідження впливу екологічних чинників на ринкову вартість нерухомості в межах населених пунктів.....	102
<i>Сай В.М.</i> Кадастрове знімання об'єктів водного фонду	107
<i>Хавар Ю.</i> Реєстрація земельних ділянок лісогосподарського призначення в системі державного земельного кадастру	114
<i>Панас Р., Маланчук М.</i> Класифікація техногенних ґрунтів: сучасні методичні підходи	122
<i>Малахова С.</i> Аналіз і оцінка сучасного стану ведення державного земельного кадастру населених пунктів (на прикладі Львівської обл.).....	128
<i>Хлян Я.В.</i> Застосування методів дистанційного зондування у моніторингу навколишнього середовища	134
<i>Курильців Р.М.</i> Інформаційна взаємодія Європейських кадастрових систем.....	138
<i>Смірнов Є.І.</i> Точність визначення площ земельних ділянок місцевості	142

ПЕРСОНАЛІ

Професору Т.Г. Шевченку – 70 років.....	144
---	-----

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ТРОПОСФЕРНИХ ЗАТРИМОК GNSS-СИГНАЛІВ

© Каблак Н., 2009

Рассмотрены вопросы определения и использования тропосферных задержек GNSS-сигналов на современном этапе развития спутниковых технологий.

Questions of definition that uses of tropospheric delays of GNSS-signals at the present stage of development of satellite technologies are considered.

Постановка проблеми. Постійні мережі з відслідковування GNSS супутників стали надзвичайно цінним інструментарієм для багатьох наукових застосувань. Передусім до таких мереж можна зарахувати глобальну мережу IGS (International GNSS Service) та регіональну мережу EPN (EUREF Permanent Network). До числа таких мереж можна зарахувати також національні мережі референцних станцій, що працюють у перманентному режимі, наприклад, німецька мережа GREF, а за останні роки і мережі активних референцних станцій, які дозволяють користувачам отримувати свої координати у режимі реального часу (RTK-технології). Прикладом такої мережі у Західному регіоні України слугує віднедавна мережа референцних станцій ZAKPOS [8].

Для отримання надійних оцінок параметрів великомасштабної мережі повинні істотно бути зменшеними, за умови "безпомилковості" вихідних координат референцних станцій, два головних джерела похибки, а саме похибки орбіти супутників GNSS та затримок сигналів у тропосфері.

У 1992 р. через IGS була запроваджена практика точного визначення ефемерид GPS супутників, які стали стандартними їхніми продуктами високої точності і яка фактично вивела невизначеність орбіти із списку істотних складових загальної похибки супутникової технології визначення координат. Проблемою, що залишається сьогодні, є визначення та врахування тропосферних затримок. Особливо важливою частиною цієї проблеми є моделювання вологої складової затримки з високою точністю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Всі звиклі атмосферні моделі "змирилися" з тим, що врахувати вологу складову затримки винятково від поверхневих вимірювань температури та відносної вологості неможливо [2]. Фактично, негідростатичний компонент тропосферної затримки дістає значний вплив від розподілу водяної пари у приземних шарах атмосфери, яка не може бути достатньо спрогнозована на основі окремих поверхневих вимірювань [1].

Єдиним виходом із цієї ситуації є спроби включити атмосферні параметри як додаткові невідомі під час аналізу даних GNSS-спостережень від перманентних станцій мережі. Як показали подальші дослідження, незалежне визначення атмосферних параметрів (тропосферних затримок) у вигляді додаткових невідомих, сприяє кращій оцінці часових змін координат станцій, що може мати і вже має важливе значення для геодинамічного моніторингу земної кори. Важливим аспектом цього підходу є також те, що знання зенітних тропосферних затримок дозволяє отримувати цінну інформацію для кліматології та метеорології, адже інтегрована водяна пара є важливим параметром для рівноваги енергії атмосфери і має значний внесок (більш ніж 60 %) природного парникового ефекту. З цієї позиції GNSS-технології можуть сприяти вдосконаленню моделювання клімату та прогнозу погоди.

З іншого боку, якщо дослідження клімату і метеорології можуть значною мірою опиратися на GNSS-вимірювання, то можна поставити і зворотну задачу. Для точного координування за допомогою GNSS-вимірювань теж можна отримати вигоду від використання числових моделей погоди для визначення тропосферних затримок у тих застосуваннях, де оцінка тропосфери не є можливою, наприклад, при кінематичних методах та методі швидкої статистики [4].

Постановка завдання. Основною метою нашої роботи було дати аналіз сучасним тенденціям до визначення та можливостей використання тропосферних затримок сигналів GNSS.

Виклад основного матеріалу. Атмосфера Землі переважно поділяється на дві основні оболонки – тропосферу та іоносферу, оскільки умови розповсюдження супутникових сигналів в цих двох частинах достатньо відмінні:

- **тропосфера** (нейтральна атмосфера) є нижчою частиною атмосфери і простягається від поверхні Землі до висоти близько 20 км. Розповсюдження сигналу залежить переважно від температури, тиску та вмісту водяної пари в атмосферних шарах. Для мікрохвильової довжини хвилі нейтральна атмосфера не є дисперсною на відміну від оптичних довжин хвиль, що має місце при SLR-спостереженнях, де вона є дисперсною. Для приймачів на борту ШСЗ тропосфера не є перешкодою.

- **іоносфера** – верхня частина атмосфери. Розташована десь між 70 та 1000 км над поверхнею Землі. Розповсюдження сигналу переважно затримують вільно заряджені частинки. Іоносфера є дисперсним середовищем для мікрохвильових сигналів.

За можливості на сучасному етапі отримання з високою точністю орбіт від IGS, потреба розглядати похибки орбіти, як важливе джерело загальної похибки, вже не приходиться. Затримки розповсюдження кодових і фазових GNSS сигналів, що зумовлені нейтральною атмосферою (тобто тропосферою), напевне один із останніх факторів, що обмежує точність геодезичних застосувань GNSS. Zenітна затримка (ZTD) через тропосферну рефракцію має порядок 2.3 м або близько 8 ммівосек для станції на рівні моря і стандартних атмосферних умовах.

Як відомо, розрізняють два види тропосферних затримок сигналів:

- відносні тропосферні затримки, які зумовлені похибками (немодельованими) тропосферної рефракції в одній кінцевій точці базової лінії щодо другої кінцевої точки.
- абсолютні тропосферні затримки, які спричинені похибками (немодельованими) тропосферної рефракції, що є спільними для обох точок базової лінії.

Відзначимо, що причиною відносних тропосферних затримок є передусім зміщення станції по висоті, тоді як абсолютні тропосферні затримки приводять до зміщених оцінок масштабу довжин базових ліній.

Для локальних та невеликих регіональних кампаній спостережень відносні тропосферні затримки набагато важливіші і найбільше піддаються моделюванню.

Тропосферне моделювання у популярному програмному пакеті Bernese ґрунтується на такому основному рівнянні:

$$\Delta\rho(t, A, z) = \text{апріорна_модель}(z) + ZTD(t, z) + \text{гор.градієнт}(t, A, z).$$

Як апріорну можна використовувати загальноприйняті моделі врахування тропосферної затримки:

- модель Saastamoinen [7],
- суху і вологу моделі Niell [6], а при використанні моделі Saastamoinen для zenітної тропосферної затримки рекомендується використовувати функцію відображення Niell,
- модифіковану модель Hopfield [5],
- модель, що базується на формулі Essen і Froome [2],
- модель Marini-Murray [2].

Відомо, що інтегрування базової формули для врахування тропосферної затримки в напрямі zenіту дає zenітну гідростатичну (суху) затримку (ZHD або ZDD) та zenітну вологу затримку (ZWD), відповідно,

$$ZDD = 10^{-6} \times \int N_d(S) dS,$$

$$ZWD = 10^{-6} \times \int N_{wv}(S) dS,$$

в яких загальна zenітна затримка становить $(ZTD) = ZDD + ZWD$.

Відповідно, похила тропосферна затримка STD буде

$$STD_i = ZDD_i \times m_{d,i}^k(\alpha) + ZWD_i \times m_{wv,i}^k(\alpha). \quad (1)$$

У цьому рівнянні використовуються відомі функції відображення m_d та m_{wv} , які отримують на основі часових змін метеопараметрів і географічного положення для i приймача та k GNSS супутника за деякого кута відсічки α .

Стандартні моделі атмосфери використовують метеорологічні дані, але вони не в стані описати метеоумови на шляху проходження GNSS сигналу протягом сесії спостереження [2].

Використання під час оброблення супутникових спостережень невідомих тропосферних параметрів, особливо вологої складової (суха складова може бути змодельована на основі атмосферного тиску), дозволяє для кожної станції отримати значення тропосферної затримки.

Розглянемо рівняння (1), в якому для простоти приймемо

$$STD_i = ZTD_i \times m_{kombin.,i}^k(\alpha),$$

де

$$m_{kombin.,i}^k(\alpha) = \frac{ZDD_i \times m_{d,i}^k(\alpha) + ZWD_i \times m_{wv,i}^k(\alpha)}{ZDD_i + ZWD_i}.$$

Тоді тропосферну затримку можна оцінити у разі опрацювання GNSS-спостережень (фазові вимірювання Φ_i^k) методом найменших квадратів, використовуючи спостереження подвійних різниць, тобто

$$\Phi_{ij}^{kl} = \rho_{ij}^{kl} - \lambda \times N_{ij}^{kl} + ZTD_j \times (m_j^l - m_j^k) - ZTD_i \times (m_i^l - m_i^k), \quad (2)$$

де ρ – псевдовиміряна відстань, λ – довжина хвилі GNSS-сигналу, N – цілочислова величина із розв'язку фазової неоднозначності.

Переважаючою невідомою зенітною тропосферною затримкою оцінюється в мережі. У цьому разі отримані оцінки можуть враховувати будь-які зміни, що відбуваються в атмосфері. Проблемним питанням цієї технології є сумарне врахування з тропосферною затримкою деяких джерел додаткових впливів, таких, наприклад як припливні ефекти, вологе тропосферне коливання тощо.

У таблиці, як приклад, наведено значення тропосферних зенітних затримок для референсних станцій мережі ZAKPOS та перманентної станції SULP, отриманої на основі рівняння (2) з використанням мережевого програмного забезпечення GPSNet.

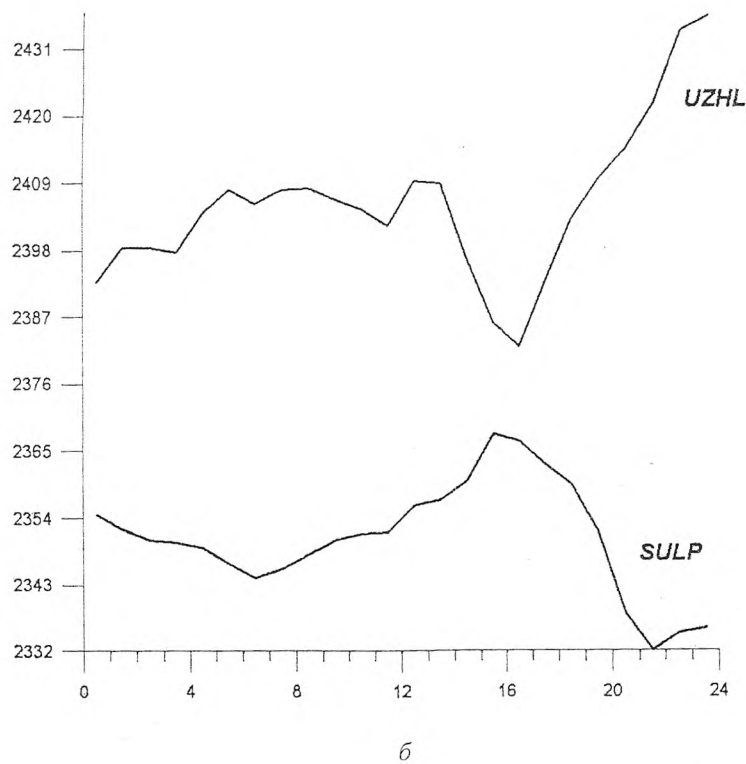
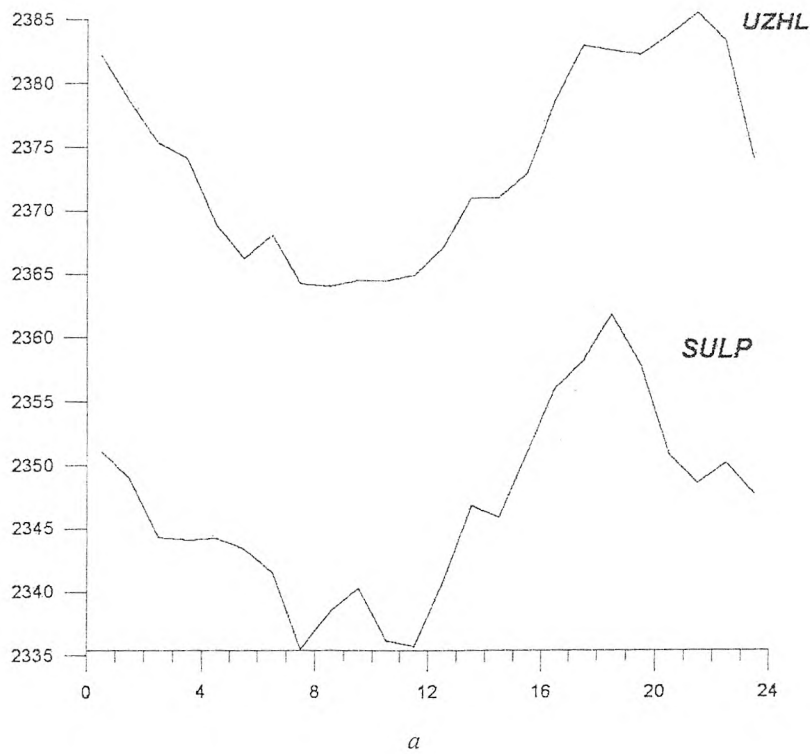
Таблиця

Величини зенітних тропосферних затримок для станцій мережі ZAKPOS

	MUKA	KHST	VBER	MIZG	RAKH	SULP
Час	17 жовтня 2009 р					12 00
ZTD, м	2.38280	2.36960	2.34827	2.28059	2.28037	2.29884
σ , м	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002
Час	17 жовтня 2009 р					12 10
ZTD, м	2.38158	2.36794	2.34514	2.28180	2.27455	2.29934
σ , м	0.00002	0.00002	0.00001	0.00002	0.00002	0.00002
Час	17 жовтня 2009 р					12 20
ZTD, м	2.38111	2.36688	2.34502	2.28355	2.27360	2.29728
σ , м	0.00001	0.00002	0.00001	0.00002	0.00002	0.00002
Час	17 жовтня 2009 р					12 30
ZTD, м	2.37942	2.36598	2.34513	2.28266	2.27456	2.29407
σ , м	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002

Відзначимо, що під час отримання даних таблиці за апріорну модель приймали атмосферну модель для сухої та вологої складових Niell, а за функції відображення також Niell. До того ж мінімальний кут відсічки становив 5° .

Аналогічно були отримані дані зенітної тропосферної затримки ZTD для постійних станцій SULP та UZHL. На рисунку у графічному вигляді наведений добовий хід ZTD на 5 жовтня (а) та 10 жовтня (б) 2009 р. для вказаних станцій.



Добовий хід зенітної тропосферної затримки для станцій SULP та UZHL

Як видно із даних таблиці зміна тропосферної затримки за короткі проміжки часу (10 хв) становить декілька мм, то на добовому русі між двома станціями (рисунок, а, б) зміни доволі істотні через 5 днів. Ці зміни ніякими апріорними моделями виявити практично неможливо.

Альтернативний шлях – моделювати тропосферну зенітну затримку стохастичною моделлю, яка опрацьовує невідому затримку як змінний параметр від часу. Математичне урівнювання виконується при цьому з послідовним фільтром Kalman. Головна суть цього підходу полягає в тому, що якщо просторово-часові характеристики можуть бути охарактеризовані на основі імовірнісних законів або статистичних моделей, то ZTD/ZWD можна передбачити за змінами просторових вимірів та часових масштабів згідно з заданою функцією щільності імовірності в значеннях просторово-часових кореляцій коливань.

Стохастичними моделями використовують, як правило, дві моделі – модель випадкового блукання та модель випадкового процесу Гаусса–Маркова першого роду [9].

Модель випадкового блукання ґрунтується на такому рівнянні:

$$\frac{dZWD}{dt} = w(t),$$

де $w(t)$ є білою шумовою випадковою величиною з нульовим середнім значенням.

Дискретний розв'язок цього рівняння має такий вигляд:

$$ZWD(t + \Delta t) = m \times ZWD(t) + \sqrt{\Delta t \times w_{rw}}.$$

Відповідно стандартне відхилення σ для процесу випадкового блукання буде

$$\sigma_{rw} = \sqrt{\left[\frac{(ZWD(t + \Delta t) - ZWD(t))^2}{\Delta t} \right]}.$$

Процес Гаусса–Маркова першого порядку, який виражає зміни вологості зенітної тропосферної затримки (ZWD) в часі (dt), можна описати таким рівнянням:

$$\frac{dZWD}{dt} = -\frac{ZWD(t)}{\tau_{G-M}} + w(t).$$

де τ_{G-M} – часом кореляції Гаусса–Маркова.

Дискретний розв'язок можна отримати із рівняння

$$ZWD(t + \Delta t) = m \times ZWD(t) + \sqrt{1 - m^2} \times w_{G-M}(t),$$

у якому $m = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau_{G-M}}\right)$.

Параметр m є показниковою кореляційною функцією між суміжними вимірними значеннями ZWD, вибраними на певному часовому інтервалі Δt між двома епохами спостережень.

Отримати параметри стохастичних моделей σ_{rw} , τ_{G-M} можна лише із аналізу даних GNSS спостережень та їх опрацювання, що і буде предметом подальших досліджень.

Висновки. Отже, ми можемо з впевненістю вважати, що тропосферні затримки мають порядок величин, що є вищим за шумові похибки фазових вимірювань. Їхній вплив повинен бути зменшений для того, щоб використати всю потенційну точність GNSS-технології. Можливими є два методи:

- моделювання тропосферних впливів без використання GNSS спостережень, тобто на основі наземних метеорологічних вимірювань та зондувань тропосфери;
- визначення параметрів тропосфери, наприклад, зенітної тропосферної затримки в загальному обчислювальному процесі GNSS та їхнє подальше використання у прикладних задачах.

1. Кабляк Н.І. Дослідження водяної пари, що випадає в атмосфері // Зб. наук. пр. "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва". – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2007. – С.89–94. 2. Миронов М.Т., Емец А.Н. и другие. Рефракция атмосферы при лазерных наблюдениях ШСЗ. – К.: Препринт ГАО УАН, 1993. – 12 с. 3. Davis J.L., Herring T.A., Shapiro I.I.,

A.E. E. Rogers, and G. Elgered *Geodesy by Radio Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Baseline Length*, *Radio Science*, Vol. 20, No. 6. – 1985. – P. 1593–1607. 4. Mendes V.B., Langley R.B. *Tropospheric Zenith Delay Prediction Accuracy for Airborne GPS High-Precision Positioning*, *Proceedings of The Institute of Navigation 54th Annual Meeting*, Denver, CO, U.S.A., 1–3 June 1998. – P. 337–347. 5. Goad C.C., and Goodman L. *A modified Hopfield tropospheric refraction correction model* // *The American Geophysical Union, CA, USA*. – 1974. – 28 pages. 6. Niell A.E. (1996) *Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths*, *Journal of Geophysical Research*, Vol.101, No.B2. – P. 3227–3246. 7. Saastamoinen J. (1972) *Atmospheric correction for troposphere and stratosphere in radioringing if satellites*, *Geophysical monograph*, 15, *American Geophysical Union, Washington, D. C., USA*. – P. 247–252. 8. Savchuk S., Kalynych I., Prodanets I. *Creation of ZAKPOS active Network Reference Stations for Transcarpatian Region of Ukraine* // *International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-based and Ground-based Augmentation Systems and Applications*. – Berlin, 11–14 November 2008. *EUPOS Presentations*. 9. Tralli D.M. and Lichten S.M. *The stochastic estimation of tropospheric path delays in global positioning system geodetic measurements*. – *Bull. Geod.* – 1990. – P. 127–159.

УДК 528.21/22

П.Д. Дзуліт, Ю.І. Голубінка

Національний університет “Львівська політехніка”

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТ КВАЗІГЕОЇДА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛЕЙ ГЕОЇДА / КВАЗІГЕОЇДА ТА ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ

© Дзуліт П.Д., Голубінка Ю.І., 2009

Рассмотрена точность определения высот квазигеоида для территории Украины на основе сравнения различных моделей геоида/ квазигеоида и гравитационного поля Земли.

In this article is considered the question of accuracy of quasigeoid heights determination for the territory of Ukraine using comparison of different models: geoid / quasigeoid and Earth's gravity field models.

Вступ. Нині існують різні моделі геоїда / квазігеоїда / та гравітаційного поля Землі, за якими обчислюють висоти квазігеоїда, гравіметричні складові відхилень прямовисних ліній та інші деривати. Для обчислення моделей використовують два підходи. У першому використовують наземні гравіметричні дані та інтеграл Стокса. У другому варіанті використовують моделі геопотенціалу.

Першу геопотенціальну модель порядку $n=8$, визначену за наземними гравіметричними даними, опрацював Жонголович в 1956 році [2, 7]. Друга модель була визначена за супутниковими даними у 1966 році у Смітстонському інституті. Ці моделі давали можливість обчислювати висоти квазігеоїда з точністю ± 10 м. Від цього часу спостерігається значний прогрес щодо точності моделей геопотенціалу.

Починаючи з 1978 року, опрацьовано і опубліковано багато моделей гравітаційного поля до ступеня і порядку 180 і вище, а в 1985 році опубліковано модель OSU 80 E / F, яка була визначена до ступеня і порядку 360.

Модель EGM 96 порядку $n=360$ опублікована у 1996 році. Вона містить покращені гравіметричні дані, аномалії з ERS-1 і з GEOSAT, обширні супутникові дані – включаючи нові дані з SLR.

ЗАХІДНЕ ГЕОДЕЗИЧНЕ ТОВАРИСТВО
УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА ГЕОДЕЗІЇ ТА КАРТОГРАФІЇ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

СУЧАСНІ ДОСЯГНЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ НАУКИ ТА ВИРОБНИЦТВА

Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК

Видається з 1996 р.

Періодичність видання – два випуски на рік

Випуск I (21), 2011

Головний редактор – доктор технічних наук, професор І. С. Тревого

*До 16-ї річниці професійного свята працівників геології,
геодезії і картографії України*

Львів
Видавництво Львівської політехніки
2011

ЗМІСТ

ОФІЦІЙНА ХРОНІКА, ОСВІТА, НАУКОВЕ, ВИРОБНИЧЕ ТА ГРОМАДСЬКЕ ЖИТТЯ

Тревого І., Серебряний Ю., Іванчук О. Прогресивні технології і техніка на “Intergeo – 2010”.....	12
Третяк К. Світовий форум компанії TRIMBLE.....	16
Третяк К., Тревого І. Сучасні методи і технології у геодезії, картографії і кадастрі Чеської республіки.....	19
Радей К., Лехнер. Діяльність НІГТКІ в галузі геодезії, картографії та кадастру нерухомості в умовах вільного ринку.....	22
Кислюк В., Тревого І. Зоряні звитяги академіка Я.С. Яцківа.....	25
Третяк К., Глотов В., Грицюк Т. XV Міжнародний ювілейний науково-технічний симпозиум “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища, GPS- і GIS-технології”.....	29
Третяк К., Смолій К., Романишин І., Серант О. Співпраця Інституту геодезії та факультету геодезії і картографії Вищої школи регіональної економіки (м. Кутно, Польща).....	32
Тимчук В., Ткачук П., Тревого І., Петлюк І., Полець О., Трофимович Л. Військова секція “Геофоруму – 2010”: робота та результати.....	34
Гавриленко Ю. Кафедра геоінформатики і геодезії Донецького національного технічного університету.....	38
Савчук С., Тревого І. Конференція в Ужгороді.....	44
Дишлик О., Дишлик Ю. Зміна керівництва МФГ – нова команда отримала повноваження.....	46
Тревого І., Шевчук П., Денисов О. Наукова, міжнародна та громадська діяльність товариства у 2010 році.....	49

ГЕОДЕЗІЯ І ГЕОДИНАМІКА

Гегер В., Краніх С., Тревого І., Ванчура Р. Мобільна система фіксації стану дорожнього полотна “МОФА-С”.....	53
Третяк К., Ломпас О. Теоретичні аспекти оптимізації батиметричного знімання у закритих водоймах.....	59
Тревого І., Цюпак І., Гегер В. Еталонний геодезичний базис: аналіз результатів і нова атестація.....	65
Тревого І., Ільків Є., Ткаченко Ю. Вплив зміни положення п’ятки рейки на точність високоточного нівелювання.....	69
Савчук С., Охрімчук А. Дослідження точності визначення координат від мережі активних референційних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS на території Рівненської області.....	73
Літинський В., Перій С. Спосіб компарування штрихкодів рейок.....	77
Самойленко О. Апроксимація поверхонь динамічних об’єктів сумісно з вирівнюванням результатів геодезичних вимірювань з урахуванням їхніх похибок та похибок вихідних даних.....	80
Ішутіна Г., Бегічев С., Янчук О., Черняга П. Можливість визначення просторових рухів на техногенно навантажених територіях за допомогою СРНС.....	86
Матвієнко С., Сидоренко Г., Романько В., Копил В., Прокопов А., Романько О., Тревого І. Радіофізичний метод вимірювання параметрів гравітаційного поля космічних тіл.....	91
Янчук О., Бендюг Є., Шульган Р., Лагоднюк Р. Вплив закритості горизонту на точність GPS-спостережень з попереднім плануванням.....	97
Мельник О. Адаптивний алгоритм оперативного GPS-геодезичного контролю.....	101
Пилип’юк Р., Пилип’юк Р., Кондур М., Прокопович Є., Стефанишин О. Спосіб високоточного геометричного нівелювання зі штучною зміною горизонту нівеліра.....	103
Бурак К., Гринішак М. Перевірка можливостей пошуку грубих похибок у висотних геодезичних мережах.....	105
Гегер В., Ковтун В., Тревого І. GYROMAX™ AK-2M гіроскопічна насадка – сучасний продукт німецької компанії GEOMESSTECHNIK HEGER.....	109
Петлюк І., Тимчук В., Власенко С., Шевченко Т. Оцінка можливостей приладів топогеодезичних підрозділів та сучасних геодезичних приладів для розв’язання військових задач.....	111
Тревого І., Гур’єва М. Сучасні центри геодезичних пунктів.....	115
Каблак Н. Оцінка величини впливу тропосфери на точність визначення координат в мережі ZAKPOS.....	118

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

Костецька Я., Озімбловський Р., Турчин Н. Дослідження методів визначення нестабільності висот реперів у нівелірних мережах.....	121
Могильний С., Шоломіцький А., Фролов І. Нова технологія визначення геометричних і кінематичних параметрів обертових печей у процесі їх функціонування.....	125
Тревого І., Баландюк А. Аналіз технологічних можливостей сучасних лазерних трекерів.....	131
Дейнека Ю., Заяць О. Модифікація комбінованого методу визначення горизонтальних зміщень споруд.....	135
Єгоров О., Ніколайчук В., Стадніков В., Шпильовий О. Побудова просторово-часової інформаційної моделі даних параметрів підкранових шляхів морського торговельного порту.....	138
Тарасенко М., Тішенко А. Геодезичне забезпечення визначення геометричних параметрів конструктивних елементів історичної споруди “Мистецький арсенал”.....	142
Горб А., Горб О. Визначення індексу рівності методом наземного лазерного сканування.....	145

ФОТОГРАМЕТРІЯ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА КАРТОГРАФІЯ

Глотов В., Пащетник О. Спосіб визначення зміни еквівалентної фокусної віддалі варіооб'єктива цифрової неметричної камери	150
Бурштинська Х., Поліщук Б., Садовська О. Методика дослідження стану лісів Прикарпатського регіону з використанням космічних знімків	154
Шавук В. Математична модель супутникового сканерного зображення динамічного типу	160
Барладін О., Миколенко Л. Використання даних дистанційного зондування Землі для створення актуальних електронних ресурсів	162
Бурбан П. Перший топографічний план Великого Новгороду	168
Зацерковний В., Кривоберець С., Сімакін Ю. Концепція застосування геоінформаційних технологій у моніторингу повітря Чернігівської області	173
Шостак А. Непаралактичний метод фотограмметричного опрацювання РЕМ-зображень	178
Погорелов В., Шавук В. Теоретичне обґрунтування способу вимірювання висоти споруд за одиничним супутниковим зображенням	182

КАДАСТР ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ

Перович І. Перспективи розвитку земельної реформи в регіонах	186
Перович Л., Петришин А. Прогнозування цін продажу земельних ділянок	188
Перович Л., Ткачик О. Кадастрове зонування територій в зоні впливу енергетичних об'єктів	191
Ступень М., Малахова С. Земельна реформа – основна ланка земельних перетворень в Україні	196
Панас Р. Бонітування ґрунтів як важлива складова державного земельного кадастру	199
Панас Р., Денека О., Ковальчук Г. Стан і перспективи використання земельних ресурсів Волинської області	204
Рудий Р. Визначення площ земельних ділянок у гірських районах	208
Щербак Ю. До питання обґрунтування оптимальної точності положення межового знака для об'єктів міського кадастру	211
Перович Л., Перович Д., Лудчак О. Аналіз використання земельних ресурсів Івано-Франківщини	214
Глінка О., Голубінка Ю. Фактори впливу на розвиток території природних кормових угідь Західного Криму	218
Маланчук М. Інвентаризація земель, порушених промисловими розробками передкарпатських родовищ сірки	221
Німкович Р., Черняга П. Системне моделювання просторових елементів при організації території землекористувань	224
Маліцький А. XML – новий формат обмінного файлу для земельного кадастру	229
Мельничук О. Ієрархічна модель зворотного процесу в системі землеустрою	232
Волосецький Б., Зубач В. Дослідження динаміки долинно-руслового рельєфу під дією паводків на р. Тиса	236
Міхно П., Хлян Я. Модель оптимізації використання рекультивованих земель	241
Швець О., Дмитрів О., Черняга П. Модель системи охорони сільськогосподарських земель від водної ерозії	248
Кібукевич О. Інтеграційні процеси в сільському господарстві як основа формування нових територіальних структур	252
Шульган Р. Особливості експертного грошового оцінювання прибережних земель	255
Губар Ю. Дослідження особливостей вибору місця розташування автозаправних комплексів	260
Бухальська Т., Черняга П. Аналіз законодавчого забезпечення розмежуванні земель державної та комунальної власності населених пунктів	265

ДИСКУСІЇ, РЕЦЕНЗІЇ

Бринь М., Веселкін П., Колгунов В. Про параметри кадастрового знімання міських об'єктів нерухомості	271
Пандул І., Корнілов Ю., Потюхляєв В., Зубов А. Застосування астрономічних азимутів у маркшейдерсько-геодезичних роботах	273
Учитель І., Ярошенко В., Капочкін Б. Геодинамічний моніторинг дистанційними методами	276
Кузик З. Цифрове моделювання історичного шляху Українських січових стрільців з використанням архівних карт та ГІС-технологій	280
Сай В. Підтоплення земель України	285
До 70-річчя від дня народження та 50-річчя професійної діяльності Дорозинського Олександра Людомировича	289
Академіку Панасу Ростиславу Миколайовичу – 75 років	291
Мельнику Володимирі Миколайовичу – 70 років	293

УДК 528.3

ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ВПЛИВУ ТРОПОСФЕРИ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ У МЕРЕЖІ ZAKPOS

Н. Каблак

Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

Ключові слова: тропосфера, RTK-режим, координати.

Постановка проблеми

В 2009 р. на території Західної України почала працювати мережа активних референціальних станцій ZAKPOS/UA-EUPOS [1].

Мережеві технології високоточних геодезичних визначень ґрунтуються на реалізації можливостей спільної обробки результатів спостережень, виконаних у мережі референціальних станцій, і формуванні так званих широкозонних корекцій для точного урахування іоносферних, ефемеридних, частотно-часових і тропосферних похибок. Така обробка передбачає використання сильної просторово-часової корельованості зазначених похибок для всіх станцій мережі з метою оцінювання цих похибок окремо або у вигляді лінійних комбінацій разом з іншими параметрами (координатами станцій, відхиленнями шкал часу між станціями тощо). Результати оцінювання похибок (або параметрів їх моделей) інтерполюються на місця розташування споживачів робочої зони мережі. Сформовані виправлення й змодельовані на їхній основі "віртуальні" спостереження за допомогою Інтернету (або іншими способами) передаються для обробки результатів спостережень користувачів.

Мережева обробка даних для визначення точного місцеположення у режимі реального часу (RTK) передбачає визначення та оцінку поправок до GNSS спостережень, що залежать від відстані між референціальними станціями і приймачем користувача.

Істотним недоліком методу RTK є обмеження максимальної відстані між референціальними станціями та мобільним приймачем. Це обмеження викликане залежними від відстані помилками (орбіти, іоносферної та тропосферної затримки сигналу тощо).

Порядок величин тропосферних затримок є вищим за шумові похибки фазових вимірювань. Їх вплив треба зменшити для того, щоб використати всю потенційну точність GNSS-технології. Цієї проблеми і стосується ця робота.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Зенітна затримка (ZTD) через тропосферну рефракцію має порядок 2.3 м або близько 8 наносекунд для станції на рівні моря і в стандартних атмосферних умовах. Ці дослідження, що розпочалися ще в 60-ті роки минулого століття і не закінчилися досі, потребували величезних зусиль багатьох вчених світу [2–9].

Нині багато провідних вчених вважають вплив тропосфери основним джерелом похибок при GPS-спостереженнях, наприклад, І. Бок [10], П. Мишра и

П. Енг [11], швейцарська група вчених із Астрономічного інституту Берна [12].

Сам процес визначення зенітних тропосферних затримок складається з двох основних кроків. На першому кроці, утворенням мережевих подвійних фазових різниць, виключається вплив іоносфери (ionosphere-free GPS carrier-phase double difference measurements), а вже потім, на другому кроці, утворюються рівняння зв'язку (поправки до прийнятої апріорної моделі тропосфери) та розв'язуються нормальні рівняння способом найменших квадратів.

Атмосфера нестабільна як у вертикальному, так і у горизонтальному напрямку. Спостерігаються великомасштабні та дрібні неоднорідності, які, своєю чергою, змінюються іноді за хвилини і секунди. Тропосферну поправку до псевдовіддалі через ці зміни нині визначають практично без похибки за стан атмосфери, якщо враховуються всі інші похибки вимірювання. В інший момент часу (навіть через кілька секунд чи частки секунд) саме значення цієї тропосферної поправки до псевдовідстані може бути іншим. Все залежить від просторово-часових змін стану атмосфери вздовж шляху проходження сигналу від супутника до спостерігача референціальної станції за цей інтервал часу. Проте в той самий момент часу сигнал від супутника до роверного приймача проходить інші шари атмосфери, у яких фізичні умови можуть бути іншими. Все залежатиме, головню, від відстаней "база–ровер". Тому і у рекомендаціях щодо побудови мережі активних референціальних станцій акцентується увага саме на відстані між станціями. У разі збільшення відстаней між такими станціями можливий додатковий ефект, зокрема від некомпенсованої тропосферної затримки.

Відомі підходи до компенсації впливу тропосфери у тому або іншому вигляді передбачають інтерполяцію тропосферних затримок, оцінених для станцій мережі, на місце розташування роверного приймача. Основні розходження між підходами полягають у виборі апроксимуючих функцій.

Так, у Німеччині запропонована інтерполяція метеопараметрів, заданих у вузлах мережі з кроком 1° [13, 14], на точку розташування роверного приймача. Причому інтерполяція здійснюється для кожного метеопараметра окремо. Згідно з [14] це забезпечує точність компенсації зенітних тропосферних затримок з похибкою близько 40 мм (RMS).

У Швейцарії апроксимація зенітних тропосферних затримок здійснюється з використанням їхнього розкладання в ряд по широті, довготі й висоті приймача споживача [15]. Таке подання забезпечує компенсацію зенітних тропосферних затримок для території Швейцарії (RMS) з точністю близько 3 см.

Постановка завдання проблеми

Конкретною метою нашого дослідження є спроба проаналізувати способи уточнення тропосферної поправки для роверного приймача в RTK-режимі. За даними зробити висновок щодо похибки обчислення координат через точність врахування впливу тропосфери в реальному часі спостережень. Мети досягнуто на основі математичних методів інтерполяції та МНК (метод найменших квадратів) з використанням GNSS-спостережень у мережі ZAKPOS.

Виклад основного матеріалу проблеми

У загальному випадку мережеві технології для високоточних диференціальних навігаційних і геодезичних визначень ґрунтуються на реалізації можливостей спільної обробки результатів спостережень багатьох базових станцій і формуванні широкозонних корекцій поправок, що повільно змінюються, таких як іоносферні в тропосферні. Спостереження на двох довжинах хвиль дають змогу виключити похибку за вплив іоносфери.

Інтегрування базової формули для врахування тропосферної затримки в напрямі зеніту дає зенітну гідростатичну (суху) затримку (ZHD або ZDD) та зенітну вологу затримку (ZWD), відповідно,

$$ZDD = 10^{-6} \times \int N_d(S) dS, \quad ZWD = 10^{-6} \times \int N_w(S) dS,$$

в яких загальна зенітна затримка становить $ZTD = ZDD + ZWD$.

Відповідно, тропосферна затримка ZTD на деякій зенітній відстані буде

$$ZTD = ZDD \times m_d + ZWD \times m_w.$$

У цьому рівнянні використовуються відомі функції відображення m_d та m_w , які отримують на основі часових змін метеопараметрів та географічного положення [16].

Функції RTK спостережень можна реалізувати як у традиційному варіанті (кожна вибрана базова станція

надає користувачам відповідні RTCM-повідомлення, які придатні для використання на відстані 20–25 км від станції), так і у варіанті RTK/VRS (мережевий варіант RTK), коли в реальному часі формується інформація VRS за даними найближчих станцій мережі.

Оскільки на території України відстані між станціями мережі ZAKPOS змінюються в межах від 50 км до 250 км і більше, і тепер все ще залишається актуальною проблема врахування атмосферної затримки проходження сигналу від супутника до спостерігача в реальному часі.

Для оцінювання впливу ZTD на визначення координат у RTK-режимі використано 12 часових вимірювань тропосферної затримки на семи станціях мережі ZAKPOS. У таблиці наведено значення різниць ZTD, визначених із мережевої обробки та ZTD₀, знайдених за допомогою апроксимації на умовно прийнятій роверній станції:

1. Різниці

$$ZTD - ZTD_0 = c_\phi \cdot \Delta\phi + c_\lambda \cdot \Delta\lambda + c_h \cdot \Delta h + c_{h^2} \cdot \Delta h^2$$

де ZTD – зенітна тропосферна затримка в точці з координатами (ϕ, λ, h) , широта, довгота й висота відповідно; ZTD₀ – зенітна тропосферна затримка на умовно прийнятій роверній станції.

2. Частки

$$\frac{ZTD}{ZTD_0} = c_\phi \cdot \Delta\phi + c_\lambda \cdot \Delta\lambda + c_h \cdot \Delta h + c_{h^2} \cdot \Delta h^2$$

безпосередньо зенітної тропосферної затримки на роверній приймач

$$ZTD = c_\phi \cdot \phi + c_\lambda \cdot \lambda + c_h \cdot h + c_{h^2} \cdot h^2$$

За кожним методом ZTD для роверного приймача розраховували методом МНК та інтерполяцією з урахуванням члена із Δh^2 та без нього.

Різниці тропосферних затримок ZTD та ZTD₀, визначених різними методами наближення в 12 часових точках

№	Метод різниць ZTD-ZTD ₀ (МНК), мм		Метод різниць ZTD-ZTD ₀ (інтерпол.), мм		Метод часток ZTD / ZTD ₀ (МНК), мм		Метод часток ZTD / ZTD ₀ (інтерпол.), мм		Прямий метод для ZTD (МНК), мм	
	з Δh^2	без Δh^2	з Δh^2	без Δh^2	з Δh^2	без Δh^2	з Δh^2	без Δh^2	з Δh^2	без Δh^2
1	1.7	2.2	8.4	9.5	0.1	2.2	0.6	7.9	1.6	2.2
2	4.7	4.2	5.8	6.9	4.5	4.6	4.4	5.1	4.7	4.4
3	2.7	1.9	1.6	1.6	3.8	2.3	3.8	1.6	2.8	2.1
4	6.5	6.7	4.7	3.9	6.9	6.4	6.9	5.1	6.5	6.5
5	6.7	5.9	5.8	6.7	6.9	6.5	6.9	5.2	6.7	6.2
6	1.0	2.9	1.7	1.2	0.9	1.6	0.9	3.5	1.0	2.2
7	5.0	4.7	5.4	6.1	4.9	4.9	4.9	5.0	5.0	4.8
8	0.6	0.0	0.0	0.7	0.7	0.4	0.7	0.5	0.6	0.2
9	7.5	7.4	9.3	9.9	7.1	7.6	7.1	8.9	7.5	7.5
10	0.2	0.2	0.3	0.5	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
11	3.1	3.6	5.8	5.8	2.5	3.4	2.5	5.8	3.1	3.5
12	5.7	6.0	6.8	6.6	5.5	5.9	5.5	6.9	5.7	5.9
Середнє	3.8	3.8	4.6	4.9	3.7	3.8	3.7	4.6	3.8	3.8

Прямий метод для ZTD (інтерпол.) = Метод різниць ZTD-ZTD (інтерпол.)

Різниця тропосферних затримок, обчислених різними методами наближення, менші за 1 см. Середнє значення цих різниць у дванадцяти часових точках становить 3,7–4,6 мм.

Для обчислення координат роверної станції із урахуванням різниць тропосферних затримок:

– від наближених декартових прямокутних координат роверного приймача здійснено перехід до еліпсоїдних координат [17];

– в еліпсоїдну координату h введено апроксимоване значення тропосферної затримки в зенітному напрямку;

– за одержаними значеннями обчислено поправки в координати роверного приймача.

Середні значення поправок в планові координати за 12 часовими точками для роверного приймача становлять: по $X = 0,6$ см, по $Y = 0,25$ см, по $Z = 0,75$ см.

Висновки

Зроблена спроба моделювання або інтерполювання помилок, що впливають на точність визначення координат, за допомогою розроблених математичних методів для референціальних станцій мережі ZAKPOS.

Спочатку в результаті опрацювання GNSS-спостережень, розв'язавши систему рівнянь, отримують величини зенітних тропосферних затримок у місцях розміщення базових станцій мережі. На другому етапі визначаються параметри функції, яка уможливує інтерполяцію одержаних зенітних тропосферних затримок на точку розміщення роверного приймача.

Результати виконаних досліджень показали, що різниця тропосферних затримок не залежать від використання математичних представлень і досягають (0,5–1,0) см, внаслідок чого похибка у визначення планових координат становить близько 1 см.

Література

1. Офіційний сайт мережі референціальних станцій ZAKPOS: <http://zakpos.zakgeo.com.ua>
2. Davis J.L., Herring T.A., Shapiro I.I., Rogers A.E. and Elgered G. Geodesy by Radio Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Baseline Length // *Radio Science*, Vol. 20, № 6. – 1985. – P. 1593–1607.
3. Mendes V.B., Langley R.B. Tropospheric Zenith Delay Prediction Accuracy for Airborne GPS High-Precision Positioning // *Proceedings of The Institute of Navigation 54th Annual Meeting*, Denver, CO, U.S.A., 1–3 June 1998. – P. 337–347.
4. Goad C.C. and Goodman L. A modified Hopfield tropospheric refraction correction model // *The American Geophysical Union*, CA, USA. – 1974. – 28 p.
5. Niell A.E. Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths // *Journal of Geophysical Research*, 1996. – Vol.101, № B2. – P. 3227–3246.
6. Saastamoinen J. Atmospheric correction for troposphere and stratosphere in radioringing if satellites // *Geophysical monograph*, 15, American Geophysical Union, Washington, D. C., USA, 1972. – P. 247–252.
7. Mendes V.B. and R.B. Langley. A comprehensive analysis of mapping functions used is modeling tropospheric propagation delay in space geodetic data // *In Proceedings of the International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation KIS94*, Banff, Canada, 30 August – 2 September, 1994. – P. 87–98.
8. Boehm J., Niell A., Tregoning P. and Schuh H. 2006a. Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data // *Geophysical Research Letters* 33, L07304. DOI: 10.1029/2005GL025546.
9. Steigenberger P., Boehm J. and Tesmer V. 2009. Comparison of GMF/GPT with VMF1/ECMWF and implications for atmospheric loading // *Journal of Geodesy* 83: 943–951, DOI 10.1007/s00190-009-0311-8.
10. Misra P.N. *Global Positioning System // Signals, Measurements and Performance* P.N. Misra, P. Enge. USA: Ganga-Jamuna Press. 2001. 390 p. Англ.
11. Schueler T., G.W. Hein and Eissfeller B. A New Tropospheric Correction Model for GNSS Navigation *Proceedings of GNSS 2001, V GNSS International Symposium*, Spanish Institute of Navigation, Seville, Spain, May 8–11, 2001
12. Schueler T. *On Ground-Based GPS Tropospheric Delay Estimation Dissertation*, Schriftenreihe 73, Studiengang Geodäsie und Geoinformation, Universität der Bundeswehr München, February 2001, online: <http://137.193.32.1/Forschung/TropAC/docs/phd/index.html>
13. The impact of the atmosphere and other systematic errors on permanent GPS networks // *Pres. IAG Symposium on Positioning*, Birmingham, UK, 19–24 July.
14. Кабляк Н.І. Сучасні підходи до визначення та використання тропосферних затримок / Н.І. Кабляк // *Геодезія, картографія і аерофото-знімання*: – Львів, 2009. – Вип. 72. – С. 22–27.
15. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика / Гофманн-Велленгоф Б., Ліхтенеггер Г., Колинз Д.; пер. з англ. третього вид. під ред. Я.С. Яцківа. – К.: Наукова думка, 1995. – 380 с.

Оцінка величини впливу тропосфери на точність визначення координат у мережі ZAKPOS

Н. Кабляк

Проаналізовано моделювання тропосферних поправок, що впливають на точність визначення координат у мережі ZAKPOS, за допомогою математичних методів.

Оценка величины влияния тропосферы на точность определения координат в сети ZAKPOS

Н. Кабляк

Проанализировано моделирование тропосферной задержки, которая влияет на точность определения координат в сети ZAKPOS, с помощью математических методов.

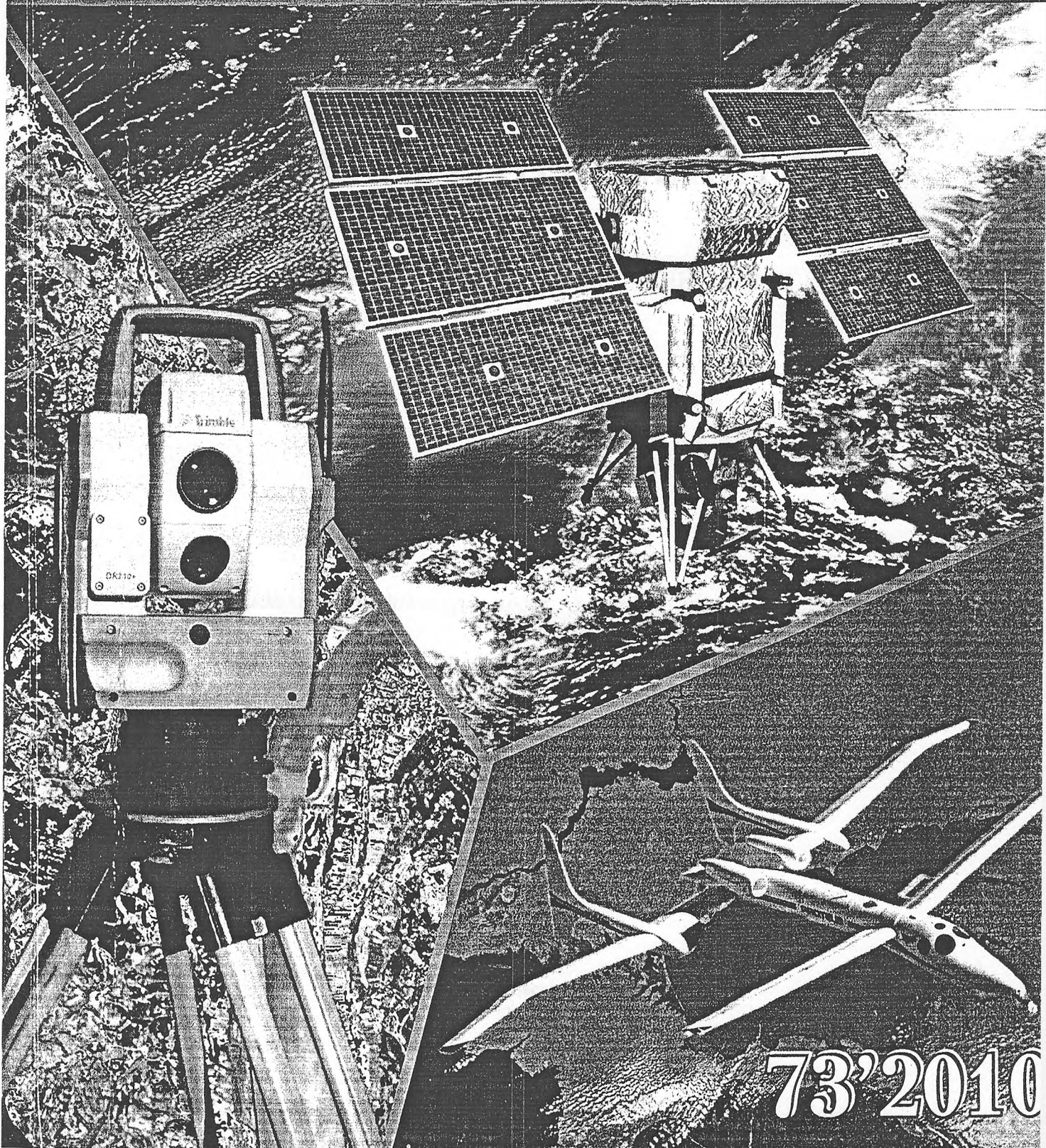
An estimate of the effects of the troposphere on the accuracy of positioning in the network ZAKPOS

N. Kablak

The analysis of modeling tropospheric propagation delay that influences accuracy of definition of coordinates of network ZAKPOS, by means of mathematical methods.

ГЕОДЕЗІЯ, КАРТОГРАФІЯ І АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

МІЖВІДОМЧИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК



73'2010