

УДК 528.3

Ю. Карпінський<sup>1</sup>, О. Кучер<sup>1</sup>, І. Засць<sup>2</sup><sup>1</sup>Науково-дослідний інститут геодезії і картографії<sup>2</sup>Департамент топографо-геодезичної і картографічної діяльності  
Державного агентства земельних ресурсів України

## ОБґРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ТА ПОБУДОВА ТРАНСФОРМАЦІЙНОГО ПОЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТ МІЖ СИСТЕМАМИ СК-42 ТА УСК2000

© Карпінський Ю., Кучер О., Засць І., 2013

*Рассмотрены вопросы построения трансформационного поля в Украине  
для использования в координатных операциях.*

*Questions of construction of the transformation of the field in Ukraine for use  
in coordinate operations.*

**Постановка проблеми.** З розвитком супутникових технологій позиціонування національна геодезична референсна система (геодезичні дати) стала визначатися традиційно розмірами референсного еліпсоїда та його орієнтацією, але вже відносно єдиного початку відліку – центра мас Землі. Останнє не було можливим для класичних геодезичних технологій у досупутниковий період розвитку геодезії і дозволило суттєво формалізувати процес переходу до різних національних геодезичних дат шляхом використання геоцентру як реперної точки або початку тривимірної системи відліку. Такий підхід дозволяє в наші дні достатньо просто забезпечити перехід до різних національних геодезичних систем відносно однієї глобальної. Саме тому трансформування національних геодезичних дат у глобальну систему (або навпаки) набуло відповідної актуальності для розвитку методів визначення параметрів трансформації, незважаючи на те, що його основи в загальній постановці були закладені ще Гельмертом і Молоденським [6]. Головною умовою такого трансформування є однорідність відповідних координатних систем щодо точності їх створення. Але саме це і є тим фактором, який суттєво впливає на результати трансформування, особливо, коли мова йде про взаємну узгодженість класичних і супутникових технологій визначення координат пунктів геодезичної мережі [1, 5]. Найвідомішим у цьому плані і дієвим на практиці виявився метод використання трансформаційного поля.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні роки можливість використання GPS технологій забезпечує фактичну заміну класичних геодезичних систем типу СК-42 на точніші та однорідні реалізації Міжнародної земної референсної системи ITRS. Крім того, в зв'язку з побудовою комбінованих геодезичних мереж на базі сумісної обробки GPS та класичних наземних даних триангуляцій розв'язування такої задачі, як трансформування планових координат  $B, L$  локальної системи (LRS) у геоцентричну (WGS84/ITRF) систему координат (GRS), стало одним з першочергових завдань геодезії. Отже, на практиці фактично виникають такі основні задачі:

- трансформування національних геодезичних дат LRS у глобальну систему GRS (розповсюдження GRS у конкретному регіоні);
- трансформування геодезичних координат з глобальної системи GRS до національної LRS (розповсюдження LRS у конкретному регіоні);
- трансформування геодезичних координат з однієї системи  $LRS_1$  до національної  $LRS_2$ : для України це трансформування координат з системи СК-42 у систему УСК2000 або навпаки.

Всі розглянуті задачі розв'язують, як правило, на основі конформного перетворення Гельмерта, яке традиційно використовується як для трансформування як тривимірних декартових, так і геодезичних координат.

Використання перетворення Гельмерта для переходу від національної системи координат до глобальної типу ITRS має головний недолік – невисоку точність перетворення в масштабі державі, яка в кращих випадках досягає величин кількох дециметрів. Саме останнє призвело до широкого використання інших методів, в основі яких лежить метод трансформаційного поля.

Отже, найбільшого поширення на практиці для виконання з високою точністю трансформування між координатами різних референціальних систем отримала технологія використання цифрових моделей у вигляді трансформаційних сіток.

Однією із найвідоміших технологій є використання бінарного формату сітки NTV2 (National Transformation version 2), який використовується при трансформуванні національних класичних систем координат [6]. Зазначений формат трансформування розробив відділ геодезичної служби Канади (GCS). Пізніше формат було адаптовано до низки вимог інших країн (Австралії, Бразилії, Канади, Франції, Німеччини, Великобританії, Нової Зеландії) та він став фактично міжнародним стандартом, який використовують провідні фірми-виробники сучасного програмного забезпечення у галузі супутникових та геоінформаційних технологій.

Один файл трансформаційного поля може містити різні сітки з різними точностями залежно від технології отримання даних для вузлів сітки. Для його використання може бути зроблене власне програмне забезпечення або залучені відомі програмні продукти, що мають можливість працювати із обраним типом формату.

Технологія створення цифрових моделей та їх використання для трансформування координат була розроблена у Науково-дослідному інституті геодезії і картографії (НДПГіК) [3, 4]. Відповідно до цієї технології зв'язок встановлюється лише між плановими координатами двох систем (широтами  $B$  та довготами  $L$ ).

**Постановка завдання.** У даній роботі розглянута цифрова модель трансформаційного поля для трансформування координат точок (пунктів геодезичних мереж згущення, точок знімальної основи та інших координованих точок), які визначено у системах координат СК-42 та СК-63, у Державну геодезичну референціальну систему координат УСК-2000.

**Виклад основного матеріалу.** Для побудови трансформаційного поля було прийнято таку схему оброблення даних:

- підготовка вихідних даних для побудови трансформаційного поля, координати яких визначено в СК-42 та УСК-2000;
- аналіз та відбракування грубих помилок;
- побудова TIN моделі по методу Делане [4];
- створення трансформаційного поля по методу скінченних елементів;
- побудова моделі трансформаційного поля для використання в програмно-методичному комплексі;
- оцінка отриманого трансформаційного поля за контрольними пунктам.

Для побудови трансформаційного поля було використано суміщені пункти Державної геодезичної мережі України, координати яких визначені в СК-42 та УСК-2000 з Банку геодезичних даних, який був створений спеціалістами НДПГіК. Результати вибірки пунктів для побудови трансформаційного поля наведено в табл. 1. Максимальні різниці координат між СК-42 та СК-2000 суміщених пунктів по осям абсцис та ординат знаходяться по абсолютній величині в діапазоні 4 метрів.

Таблиця 1

Результати вибірки пунктів

№ з/п	Клас пунктів	Кількість пунктів
1	1	808
2	2	5456
3	3	9874
4	4	8027
Разом		23357

Відбраковування пунктів проводили за такими критеріями:

- за результатами порівняння відстаней між близькими пунктами;
- за результатами порівняння різниць  $\Delta x=x_{42}-x_{2000}$  та  $\Delta y=y_{42}-y_{2000}$  на суміщених пунктах та значеннями, що визначені методом середньовагової функції у межах заданого радіуса.

З вхідних даних для побудови трансформаційного поля було вилучено всі близькі пункти, які знаходяться на відстані менш ніж 200 метрів, що не перевищує мінімальної відстані між пунктами полігонометричної мережі. Для визначення середньовагових значень відхилень за осями абсцис та ординат у межах заданого радіуса було прийнято радіус величиною 12000 метрів, що дає змогу включити в обчислювальний процес всі ближні пункти 2-го класу, які утворюють однорідну геометричну мережу.

У результаті аналізу із вхідних даних для побудови трансформаційного поля було вилучено всі пункти, на яких різниця відхилень координат перевищувала 0,30 м. Саме така різниця не перевищує значення середньоквадратичної похибки взаємного положення пунктів в СК-42. Таким чином було відбраковано 204 пункти.

Для побудови TIN моделі за методом Делане для створення трансформаційного поля було використано програмно-методичний комплекс TerenTIN, розроблений у Науково-дослідному інституті геодезії і картографії. Дані для комплексу (координати пунктів та їх відхилень)  $\Delta x=x_{42}-x_{2000}$  та  $\Delta y=y_{42}-y_{2000}$  готувалися в текстовому форматі.

Потім для кожного трикутника складався математичний опис кінцевого елемента, на основі афінного перетворення та визначались параметри трансформування в межах цього елемента.

Для зручності використання отриманого трансформаційного поля дані його були перенесені методом інтерполяції на регулярну сітку.

Оцінка отриманого трансформаційного поля за даними з 808 пунктів 1 класу, які було визначено із GPS спостережень і які не брали участі у створенні трансформаційного поля. Результати оцінювання наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Оцінка трансформаційного поля**

Складова поля	Кількість контрольних пунктів	Відхилення мін., м	Відхилення макс., м	Сер. кв. похибка, м
по осі абсцис	808	-0.108	0.116	0.032
по осі ординат	808	-0.141	0.133	0.028

Отже, трансформаційне поле складається із двох окремих сіток: широтної ( $\Delta B$ ) та довготної ( $\Delta L$ ). Кожна така сітка характеризується такими параметрами:  $B_{min}^{grid}, B_{max}^{grid}$  – межі сітки по широті,  $L_{min}^{grid}, L_{max}^{grid}$  – межі сітки по довготі,  $n_B, n_L$  – кількість вузлів сітки в широтному та довготному напрямках відповідно,  $h_B, h_L$  – розміри елементарної клітинки по широті та по довготі відповідно.

**Висновки.** На основі проведеного дослідження визначено, що використання афінного трансформування методом скінченних елементів порівняно з іншими методами забезпечує вищу точність, оскільки локалізує спотворення геодезичних мереж, заданих менш точними пунктами, при переході до систем координат, заданої більш точними координатами. Регулярну модель поправок  $\Delta B / \Delta L$  наведено у вигляді двох двовимірних масивів  $\Delta B / \Delta L(1...n_B, 1...n_L)$ , кожен елемент яких  $\Delta B / \Delta L(j, i)$  містить значення поправки у широту  $\Delta B$  або довготу  $\Delta L$  у вузлі регулярної сітки з індексами  $(j, i)$ . Кожен з цих масивів складається із 8 718 381 точок.

1. Бондар А.Л., Засць І.М., Кучер О.В. Стан та основні напрямки розвитку Державної геодезичної мережі України // Вісник геодезії та картографії. – 2001. – № 3. – С. 17–23.  
 2. Карпінський Ю.О. Загальна схема вирівнювання геодезичних мереж методом скінченних елементів // Вісник геодезії та картографії. – 2002. – № 4. – С. 11–13.  
 3. Кучер О.В. Внедрение государственной референционной системы координат Украины // Автоматизированные технологии

изысканий и проектирования. – 2012. – № 3(46). – С. 67–73. 4. Кучер О.В., Куриляк І.С., Марченко О.М. Про перетворення координат із системи СК-42 в систему УСК-2000 // Вісник геодезії та картографії. – 2009. – № 2. – С. 6–13. 5. Кучер О., Ренкевич О., Лепетюк Б., Заєць І. Науково-технічне забезпечення впровадження референційної системи координат для території України // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Львів, 2003. – С. 23–31. 6. Карпінський Ю.О. Афіне трансформування координат методом скінченних елементів. – 2002. – № 4 – С. 23–27.

УДК 528.3

Л.М. Янків-Вітковська

Національний університет “Львівська політехніка”

## ПРО ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІОНОСФЕРИ ДЛЯ GNSS-СТАНЦІЙ SULP, RVNE ТА SHAZ

© Янків-Вітковська Л.М., 2013

*Определены основные закономерности изменения со временем вертикальных значений TEC для нескольких близких GNSS-станций.*

*The main regularities of changes over time vertical TEC values of a few close GNSS-stations.*

**Постановка проблеми.** Вимірювання параметрів супутникових сигналів у поєднанні з методами математичної обробки та моделювання знайшли широке застосування в зв'язку з впровадженням в практику досліджень сучасних обчислювальних засобів і методів експериментальних досліджень. Наявність штатних вимірів радіонавігаційних параметрів дає можливість використовувати глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) як вже існуючий, технічно досконалий інструмент отримання діагностичної інформації про атмосферу Землі. Зокрема GNSS-технології дають змогу визначати висотний розподіл електронної концентрації іоносфери Землі з використанням спеціального математичного апарату розв'язання так званих некоректних обернених задач [1–3]. Для встановлення відповідних закономірностей зміни параметрів іоносфери важливо вміти правильно врахувати їх зміну з часом. Для цього необхідно визначити основні закономірності щодо зміни стану іоносфери та встановити значення параметрів, що описують іонізацію атмосфери. Отже, дослідження характерних змін з часом показника *TEC* для GNSS-станцій є важливою проблемою, розв'язанням якої можна моделювати іоносферні впливи за мінімально можливими проміжками часу та отримати максимальну точність для розв'язання задач координатного забезпечення для заданого регіону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження параметрів іоносфери (вміст загальної кількості електронів – *TEC*) залежно від різних фізичних умов використовуються в моделях, які застосовуються в радіотехнічних системах, що використовують іоносферний канал, і дають змогу враховувати вплив середовища поширення сигналу на якість роботи таких систем [1, 2].

За останні десятиліття було створено різні моделі іоносфери для регулярних змін *TEC*. Ці моделі використовують різні методи, однак результати показують, що ні Глобальні іоносферні карти [3], ні модель Клобушара [1,2], ні модель НеКвіка [4] не спроможні відкоригувати іоносферні запізнення на 100 %.