

НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕФЕРЕНЦНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

О. Кучер², Б. Лепетюк¹, О. Ренкевич², І. Заєць³.

¹ Укргеодезкартографія, Київ

² Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, Київ

³ Українське державне аерогеодезичне підприємство

1. ВСТУП

В найближчі роки має бути реалізована стратегічна лінія Укргеодезкартографії по створенню та впровадженню геодезичної референцної системи координат, як планової складової національної системи відліку.

Концепція побудови нової геодезичної референцної системи координат отримала позитивний відгук провідних вчених і спеціалістів, які працюють в галузі геодезії та інших суміжних областях науки і техніки. Обговорення цього питання було проведено у червні 2002 року, за участю представників: Укргеодезкартографії, Національної академії наук, Міністерства оборони, Міністерства освіти, Міністерства транспорту та Національного космічного агентства України. План-заходів по впровадженню референцної системи координат розглянутий та схвалений науково-технічною радою Укргеодезкартографії в грудні 2002 року.

Основні заходи цього плану наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

№ з/п	Найменування заходів	Орієнтовний термін виконання
1	Підготовчі роботи: - Розробка ТЕД (техніко-економічної доповіді) про впровадження референцної системи координат; - Моделювання параметрів референцної системи координат; - Наповнення банку геодезичних даних інформацією про пункти мережі 1, 2 класів; - Нормативно-правове забезпечення (підготовка проекту постанови Кабінету Міністрів України щодо запровадження системи координат, розробка інструкцій, тощо).	2003 рік
2	Створення опорної геодезичної мережі 1, 2 класів - Супутникові радіонавігаційні спостереження на пунктах мережі 1,2 кл. (500 пунктів); - Вирівнювання державної геодезичної мережі 1, 2 класів (близько 5 900 пунктів);	2003-2005 роки
3	Впровадження референцної системи координат: - Наповнення банку геодезичних даних інформацією про пункти мережі 3, 4 класів; - Вирівнювання ДГМ 3, 4 класів; - Складання та поширення каталогів координат пунктів ДГМ;	2004-2006 роки

2. МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕФЕРЕНЦНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ

Основною проблемою при вирішенні питання про введення нової референцної системи координат є збереження репрезентативності існуючого картографічного матеріалу при переході від системи СК-42 до нової системи. Очевидно, що репрезентативність цього матеріалу можна буде вважати дійсною, якщо при переході до нової системи координат спотворення планового положення геодезичних пунктів не перевищать помилки визначеної нормативними документами, а саме [3]:

для листа карти масштабу 1:10 000	3 м
для листа карти масштабу 1:25 000	7,5 м
для листа карти масштабу 1:50 000	15 м

Наразі із цією вимогою нова система мусить мати однозначні параметри зв'язку із загальноземною геоцентричною системою координат, що забезпечить ефективне використання в геодезичному виробництві супутникових радіонавігаційних систем та європейську інтеграцію з питань геопросторового представлення інформації.

З огляду саме на ці вимоги пропонується методика моделювання референцної системи координат для території України за якою явно і однозначно задаються параметри зв'язку із загальноземною геоцентричною системою координат, які моделюються із врахуванням оптимального збереження існуючої математичної основи топографічних карт основних масштабів.

Задачі перетворення системи координат формулюються наступним чином:

1. Задана деяка точка з просторовими геодезичними координатами, приведеними до локального еліпсоїда (референц-еліпсоїда) з великою піввіссю a_0 та стисненням f_0 ;
2. Відомі параметри зв'язку між системами;
3. Знайти цю ж точку з просторовими геодезичними координатами, приведеними до еліпсоїда системи WGS-84 з великою піввіссю a та стисненням f .

Для моделювання використаємо перетворення за сімома параметрами Гельмерта (1), які повністю описують перетворення координатних систем.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ГЕО}_\Pi} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ЛОК}} + \begin{bmatrix} \mu & +\varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & \mu & +\varepsilon_X \\ +\varepsilon_Y & -\varepsilon_X & \mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{ЛОК}} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$, $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$, μ - сім параметрів Гельмерта, а саме: $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ - відображають вектор зміщення початку локальної системи координат та геоцентричної системи координат; $\varepsilon_X, \varepsilon_Y, \varepsilon_Z$ - кутові елементи, які передають обертання локальної системи для забезпечення паралельності її осей з осями геоцентричної системи; μ - масштабний множник.

Змодельовані параметри перетворення (1) мають відповідати умовам:

$$\Delta X = \text{const};$$

$$\Delta Y = \text{const};$$

$$\Delta Z = \text{const};$$

$$\varepsilon_x = \text{const};$$

$$\varepsilon_y = \text{const};$$

$$\varepsilon_z = \text{const};$$

$$\mu = \text{const};$$

які знаходяться при умові оптимального збереження системи координат 42 року.

Для практичних досліджень використані результати супутникових радіонавігаційних спостережень на пунктах астрономо-геодезичної мережі 1 класу, виконаних у 2000 році. В результаті їх обробки в програмному середовищі GAMIT/GLOBK був отриманий комбінований розв'язок для 42 пунктів державної геодезичної мережі 1 класу в системі координат ITRF2000. Для моделювання референцної системи координат використано 9 пунктів, схема розміщення яких наведено на рисунку 1. Ці ж пункти мають координати в системі СК-42 на еліпсоїді Красовського.

В якості геоцентричної системи координат прийнята ITRF2000 системи ITRS. Система ITRS задається каталогом координат ITRF (міжнародної земної референцної системи відліку) та швидкостей їх зміни низки пунктів IERS, розміщених по всій земній кулі. Остання реалізація ITRS – ITRF2000, реалізація на 2000 рік.

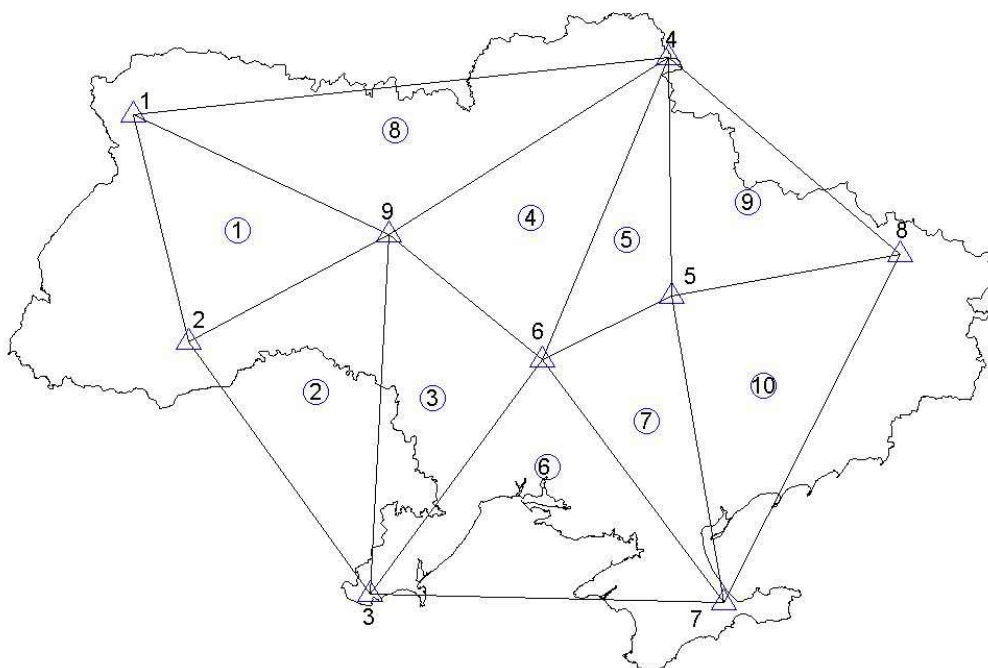


Рис.1. Схема розміщення пунктів Державної геодезичної мережі 1 класу для моделювання параметрів референцної системи координат.

Моделювання параметрів референцної системи координат для території України пропонується виконати шляхом аналізу зміщення координат однойменних пунктів за умовою дотримання вимог:

- Масштаб референцної системи дорівнює масштабу геоцентричної системи координат;
- Осі координат референцної системи паралельні осям координат геоцентричної системи;
- Розміщення центру референцної системи координат (суміщене з центром референц-еліпсоїда) має забезпечувати оптимальне відхилення поверхні референц-еліпсоїда від реальної

поверхні Землі на регіон України, тобто мінімізація поправок за висоти геоїда та відхилення прямовисних ліній;

- Для референцної системи координат приймається еліпсоїд Красовського з відповідними геометричними параметрами;

- Для геоцентричної системи координат ITRS - ITRF2000 в якості поверхні відносності приймається еліпсоїд GRS-80 з відповідними геометричними параметрами.

2.1 Дослідження зміни масштабного множника

Для дослідження зміни масштабного множника по території України виконано обчислення його між системою координат 1942 р. та геоцентричною системою координат ITRS - ITRF2000. Для більш-повного представлення території України, обчислення виконані по трикутниках, утворених пунктами ДГМ (рис. 1). Результати обчислення наведені на графіку, рисунок 2.

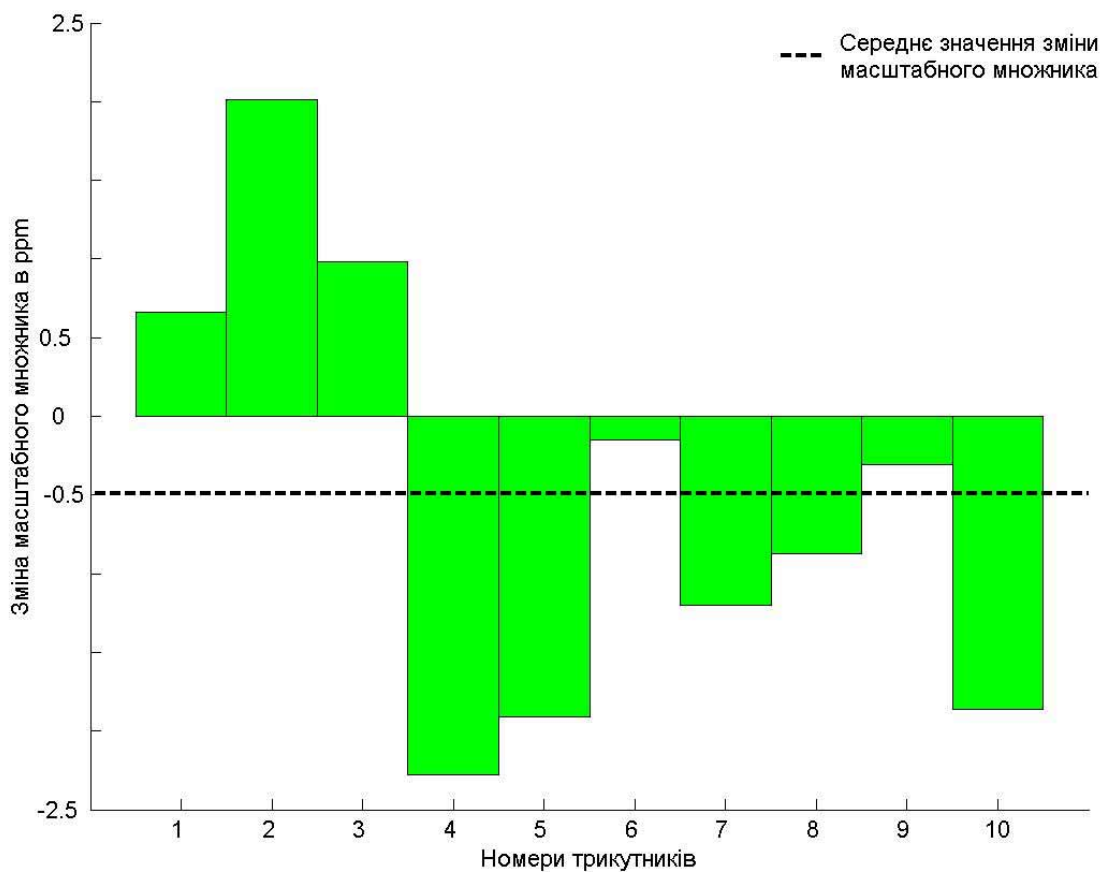


Рис. 2 Зміна масштабного множника

З даного рисунку видно, що зміни масштабного множника незначні, середнє відхилення складає -0.5 ppm, тобто 0.5 мм на 1 км.

2.2 Дослідження зміни в координатах із-за орієнтації осей координат

Дослідження виконані шляхом визначення зміни геодезичних координат при повороті координатної системи на 1" по всіх трьох осях.

Результати досліджень наведені у таблицях 2-4

Таблиця 2. Різниці геодезичних координат при $\varepsilon_x = -1''$

Пункт	dB, "	DL, "	dH, м
8	0.63	-0.87	0.06
9	0.51	-1.03	0.05
6	0.55	-0.88	0.06
5	0.53	-0.95	0.05
3	0.51	-0.90	0.05
7	0.56	-0.81	0.06
4	0.57	-1.00	0.06
2	0.44	-1.00	0.05
1	0.40	-1.14	0.04
Середнє	0.52	-0.95	0.05

Таблиця 3. Різниці геодезичних координат при $\varepsilon_y = -1''$

Пункт	dB, "	dL, "	dH, м
8	-0.78	-0.71	-0.08
9	-0.86	-0.61	-0.09
6	-0.83	-0.58	-0.09
5	-0.85	-0.60	-0.09
3	-0.86	-0.54	-0.09
7	-0.83	-0.54	-0.09
4	-0.82	-0.69	-0.08
2	-0.90	-0.49	-0.09
1	-0.91	-0.50	-0.09
Середнє	-0.85	-0.58	-0.09

Таблиця 4. Різниці геодезичних координат при $\varepsilon_z = -1''$

Пункт	dB, "	dL, "	dH, м
8	0.00	1.00	0.00
9	0.00	1.00	0.00
6	0.00	1.00	0.00
3	0.00	1.00	0.00
5	0.00	1.00	0.00
7	0.00	1.00	0.00
4	0.00	1.00	0.00
2	0.00	1.00	0.00
1	0.00	1.00	0.00
Середнє	0.00	1.00	0.00

За результатами обчислення параметрів Гельмерта по трикутниках, їх абсолютне значення по осях координат не перевищує 1", тобто паралельність осей координат референцної системи координат та геоцентричної суттєво не вплине на зміщення положення пунктів.

2.3 Дослідження зміни в координатах із-за зміщення центру системи координат

Дослідження виконані шляхом визначення зміни геодезичних координат при зміщенні центру системи координат на 1 м по всіх трьох осях.

Результати досліджень наведені у таблицях 5-7

Таблиця 5. Різниці геодезичних координат при $\Delta X = -1\text{m}$

Пункт	dB, "	dL, "	dH, м
8	0.02	0.03	-0.52
9	0.02	0.03	-0.55
6	0.02	0.03	-0.57
3	0.02	0.02	-0.59
5	0.02	0.03	-0.54
7	0.02	0.03	-0.59
4	0.02	0.03	-0.52
2	0.02	0.02	-0.60
1	0.02	0.02	-0.57
Середнє	0.02	0.03	-0.56

Таблиця 6. Різниці геодезичних координат при $\Delta Y = -1\text{m}$

Пункт	dB, "	dL, "	dH, м
8	0.01	-0.04	-0.42
9	0.01	-0.04	-0.32
6	0.01	-0.04	-0.38
3	0.01	-0.04	-0.35
5	0.01	-0.04	-0.37
7	0.01	-0.04	-0.40
4	0.01	-0.04	-0.36
2	0.01	-0.04	-0.29
1	0.01	-0.05	-0.25
Середнє	0.01	-0.04	-0.35

Таблиця 7. Різниці геодезичних координат при $\Delta Z = -1\text{m}$

Пункт	dB, "	dL, "	dH, м
8	-0.02	0.00	-0.75
9	-0.02	0.00	-0.77
6	-0.02	0.00	-0.73
3	-0.03	0.00	-0.73
5	-0.02	0.00	-0.76
7	-0.03	0.00	-0.70

4	-0.02	0.00	-0.78
2	-0.02	0.00	-0.75
1	-0.02	0.00	-0.78
Середнє	-0.02	0.00	-0.75

Як видно, зсув початку координат впливає, головним чином, на значення геодезичної висоти. Те ж саме є характерним для впливу величини лінійного масштабу. В цей же час, повороти навкруг осей координат впливають, головним чином, на значення геодезичної широти та геодезичної довготи пунктів. При цьому можна зазначити, що максимальні за абсолютною величиною різниці поправок геодезичних координат складають:

- при повороті навкруг осі OX на кут $1''$ $\Delta dB=0.25''$ (захід – схід) та $\Delta dL=0.29''$ (північ - південь);
- при повороті навкруг осі OY на кут $1''$ $\Delta dB=0.14''$ та $\Delta dL=0.28''$;
- при повороті навкруг осі OZ на кут $1''$ різниці поправок є практично відсутніми.

Беручи наведені значення різниць поправок і приймаючи, що відстань захід - схід становить близько 1200 км, неважко визначити, що спотворення взаємного положення пунктів не буде перевищувати 1.5 мм/км або 10 см в межах листа карти масштабу 1:10000, що відповідає 0.01 мм на карті такого масштабу.

3. ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

З метою інтеграції України в світову та європейську економічні системи, запровадження сучасних систем навігації транспортних засобів, участі в міжнародних наукових дослідженнях глобальних екологічних і геодинамічних процесів, вивчення фігури Землі, загальнодержавного та екологічного картографування території, розвитку та модернізації Державної геодезичної мережі необхідно, згідно з рекомендаціями Європейської підкомісії Міжнародної асоціації геодезії – EUREF та статистичного офісу Європейської комісії EUROSTAT, Європейської організації з безпеки авіації та навігації EUROCONTROL пропонується запровадити сучасну геодезичну референцну систему координат за наступними умовами:

- В якості вихідних геодезичних дат використати пункти фундаментальної мережі України, які з субсантиметровою точністю узгоджені із геоцентричною системою координат ITRS - ITRF2000;
- За поверхню відносності у геодезичній референційній системі координат прийняти еліпсоїд Красовського з відповідними геометричними параметрами;
- Моделювання референційної системи координат для території України виконати за умовами:
 - Масштаб референційної системи дорівнює масштабу геоцентричної системи координат;
 - Осі координат референційної системи паралельні осям координат геоцентричної системи;
 - Розміщення центру референційної системи координат (суміщене з центром референц-еліпсоїда) має забезпечувати оптимальне відхилення поверхні референц-еліпсоїда від реальної поверхні Землі на регіон України, тобто мінімізація поправок за висоти геоїда та відхилення прямовисних ліній;

Виконання даних пропозицій та активна участь у міжнародних проектах з питань розвитку геодезичних мереж та геоінформаційних проектів дозволить Україні провести модернізацію Державної геодезичної мережі та створення і представлення цифрової картографічної інформації на сучасному науковому і технічному рівні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України (Постанова Кабінету Міністрів України, №844, від 8 червня 1998 р.) – Зібрання законодавства України. Серія 1. Постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України. – 1998. –№9. –с. 416.
2. Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS - 84 (Постанова КМ України №2359, від 22 грудня 1999 р.)
3. Бондар А. Л., Заєць І.М. Кучер О.В. Стан та основні напрямки розвитку Державної геодезичної мережі України // Вісник геодезії та картографії. – 2001 р. - №3. – с. 17-23.
4. Ефимов Г.Н. Результаты уравнивания астрономо-геодезической сети // Геодезия и картография. –1995. –№8. –с. 17–22.
5. Машимов М.М.К 50-летию введения Единой системы геодезических координат и высот // Геодезия и картография. –1996. –№4. – с.8-14.
6. Кучер О., Ренкевич О., Лепетюк Б. Дослідження референціальних систем координат для території України // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва (Збірник наукових праць Західного Геодезичного Товариства). –2002. –с. 15–28.

О. Кучер, Б. Лепетюк , О. Ренкевич, И. Заец

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ВНЕДРЕНИЯ РЕФЕРЕНЦНОЙ СИСТЕМЫ
КООРДИНАТ ДЛЯ ТЕРИТОРИИ УКРАИНЫ**

Резюме

Приведен комплекс работ по разработке системы координат, исследованы основные условия моделирования этой системы.

O. Kucher, B. Lepetjuk , O. Renkevich, I. Zajets

**SCIENTIFIC-AND-TECHNICAL SUPPORT OF
UKRAINIAN REFERENCE COORDINATE SYSTEM
INTRODUCTION**

Abstract

Work package on development of coordinate system are given; main conditions for modeling of the system are examined.