

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Доскіч Софія Василівна



УДК 528.31+551.242.1

**КОМБІНОВАНИЙ РОЗВ'ЯЗОК КООРДИНАТ АКТИВНИХ РЕФЕРЕНЦНИХ
GNSS СТАНЦІЙ УКРАЇНИ**

05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі вищої геодезії та астрономії у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Савчук Степан Григорович,
професор кафедри вищої геодезії та астрономії
Національного університету «Львівська політехніка»,
м. Львів;

Офіційні опоненти : доктор фізико-математичних наук, професор
Железняк Олег Олександрович,
завідувач кафедри аерокосмічної геодезії
Національного авіаційного університету, м. Київ;

кандидат технічних наук
Кучер Олег Васильович,
перший заступник директора з наукової роботи
Науково-дослідного інституту геодезії і картографії, м. Київ.

Захист дисертації відбудеться «14» березня 2019р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Карпінського, 6, ауд. 502 II навч. корп.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «11» лютого 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., доцент



Паляниця Б. Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При розв'язуванні задачі отримання реалізації загальноземної референцної системи ITRF глобального масштабу шляхом комбінованого розв'язку від окремих реалізацій, пов'язаних із різними технологіями космічної геодезії, є розроблені методичні підходи, які базуються на опрацюваннях у стандартизованих програмних пакетах: CATREF (опрацювання довгострокових розв'язків всієї мережі ITRF) та GAMIT-GLOBK, GIPSY-OASIS, BERNISE (опрацювання підмереж в окремих операційних центрах). Для подібної задачі в національних масштабах ці наукові стандартизовані програми (GAMIT-GLOBK, GIPSY-OASIS, BERNISE) використовуються по аналогії, хоча при цьому між цими задачами є суттєві відмінності, які полягають у наступному:

- територіальних обмеженнях для реалізацій земної референцної системи ITRF;
- використанні ресурсів національних служб для розповсюдження реалізацій земної референцної системи ITRF;
- особливостях розвитку національних мереж станцій, інструментальної бази, центрів збору та опрацювання даних спостережень;
- запровадженні нормативно-правових обмежень реалізацій земної референцної системи ITRF тощо.

Отже, на сьогоднішній день розробка підходів до отримання комбінованого розв'язку для національних масштабів є одним із пріоритетних напрямків досліджень.

Також дані регіонального комбінованого розв'язку (координати та швидкості координат) можуть широко використовуватися в дослідженнях довготривалих рухів і деформацій земної кори, в сейсмології та частково при прогнозах сейсмічної активності, при геодезичних роботах на великих інженерних спорудах, при будівництві дамб, мостів, ГЕС та ін.

Значний внесок у розвиток методології таких досліджень внесли зарубіжні вчені з Національного географічного інституту Франції (Altamimi Z., Sillard P., Boucher C.), Центру прикладної геоматики, Військового технологічного університету у Варшаві (Araszkiewicz A., Bogusz J., Szafranek K.), Швейцарського федерального відділення топографії (Brockmann E.); Королівської обсерваторії Бельгії (Bruyninx C., Legrand J.), Бюро шахт, геології та сейсмологічної лабораторії університету Невади (Blewitt G.), Кафедри наук про Землю університету Падуї (Carofali A.), Міланської політехніки (Caldera S.), Гданського політехнічного університету (Figurski M.), Мюнхенського технічного університету (Seitz M.), Інституту прикладної астрономії РАН (Панафидина Н.А., Малкин З.М.), Робочої групи зі згущення EPN (Kenyeres A.) та вітчизняні дослідники з Національного університету «Львівська політехніка» (Савчук С.Г., Марченко О.М., Третяк К.Р., Серант О.В., Смірнова О.М., Вовк А.І.), Головної астрономічної обсерваторії НАН України (Литвин М.О., Хома О.А., Іщенко М.), науково-дослідного інституту геодезії та картографії (Кучер О.В.) та інші.

Враховуючи науковий та економічний аспект цієї проблематики, можна говорити про те, що дані дослідження є необхідними та актуальними в наш час.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконана робота відповідає науковому напрямку кафедри вищої геодезії та астрономії «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань»; науковій тематиці робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Геодезичного моніторингу та рефрактометрії» (ГНДЛ-18) та навчально-наукової лабораторії «Опрацювання супутникових вимірів» Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка».

Дисертаційна робота виконана в межах науково-дослідних робіт, пов'язаних з вивченням геодинаміки Європейського континенту. Виконані дослідження відповідають науковому напрямку «Науки про Землю і навколишнє середовище» Державного фонду фундаментальних досліджень.

Мета і завдання досліджень. Метою дисертаційної роботи є теоретичні та практичні дослідження, пов'язані з підвищенням надійності координатного забезпечення шляхом комбінованого розв'язку для координат активних референціальних GNSS-станцій України.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- Провести аналіз реалізацій національних систем відліку шляхом створення комбінованого розв'язку за даними багаторічних GNSS вимірів.
- Розробити методику реалізації української національної системи відліку ITRF/ETRF.
- Дослідити інструментарій створення комбінованих розв'язків для мережі активних референціальних GNSS-станцій.
- Дослідити та визначити оптимальну конфігурацію опорних станцій для реалізації системи відліку в комбінованих розв'язках.
- Дослідити значення характеристики точності χ^2 (chi-квадрат) розв'язків в програмному пакеті Gamit-Globk та встановити оптимальні допуски для підвищення точності комбінованого розв'язку.
- Реалізувати розроблену методику для створення української національної системи відліку ETRF2000_UKR.
- Провести геодинамічну інтерпретацію результатів обчисленого комбінованого розв'язку стосовно основних тектонічних структур на території України.

Фактичний матеріал. В роботі використовуються дані багаторічних (2013 - 2016 рр.) спостережень на мережі активних референціальних GNSS-станцій України і близького зарубіжжя (біля 150 станцій з періодичністю одна доба і 30 сек. реєстрацією). Основна частина даних, що використовувалися в роботі, отримана від операторів мереж ZAKPOS та TNT-TPI.

Об'єктом дослідження є мережа активних референціальних GNSS-станцій на території України.

Предметом досліджень є комбіновані розв'язки координат активних референціальних станцій України на основі опрацювання щорічних серій результатів GNSS-спостережень.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Розроблено методику реалізації української національної системи відліку на основі аналізу реалізацій національних систем відліку ряду європейських країн

шляхом створення комбінованого розв'язку за даними багаторічних GNSS-вимірів.

- Вперше отримані узгоджені ряди координат в системі відліку ITRF08 та визначено річні значення швидкостей координат за період 2013 – 2016 років для понад 120 українських GNSS-станцій на території України і станцій близького зарубіжжя.
- Підвищено точність отримання комбінованого розв'язку в програмному пакеті Gamit-Globk шляхом встановлення експериментально визначених оптимальних допусків.
- Підвищено точність визначення вектора зміщень референцних GNSS-станцій порівняно з уже наявними моделями шляхом обчислення вектора ротаційних параметрів для території України.
- За розробленою методикою реалізовано національну систему відліку ETRF2000_UKR.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення результатів полягає в наступному:

- отримані ряди координат станцій є високоточними даними для геодинамічних досліджень на території України та можуть бути використані в геодезії, картографії, землевпорядкуванні тощо;
- результати визначення швидкостей координат більш ніж 120 GNSS-станцій дозволяють провести аналіз руху окремих частин Євразійської тектонічної плити на території України, а також слугують для переходу з однієї системи відліку (ITRF) в іншу (ETRF);
- визначення ротаційних параметрів частини Євразійської плити в межах території України дозволило підвищити точність визначення координат та швидкостей координат референцних GNSS-станцій.

Основні положення, що виносяться на захист.

- Методика реалізації національної системи відліку для території України.
- Створений об'єднаний в часі розв'язок за період 2013 – 2016 років для понад 120 українських GNSS-станцій на території України.
- Параметри ротації частини Євразійської плити в межах території України, які підвищують точність визначення вектора зміщень референцних GNSS-станцій порівняно з уже наявними моделями.
- Результати реалізації національної системи відліку ETRF2000_UKR.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати досліджень дисертаційної роботи одержані автором самостійно та викладені у роботах [1-11]. Автор особисто проаналізував математичні принципи створення комбінованих розв'язків [5] та можливості використання програмного пакету Gamit-Globk для створення регіональних комбінованих розв'язків [4]. Автор самостійно обробив матеріали досліджень — результати спостережень з мережі активних референцних GNSS-станцій України за 2013-2016 роки [2, 6, 7, 8, 11]. Серед наукових праць, які опубліковано у співавторстві, в роботі використано тільки ті положення та результати, які належать автору: виконано апробацію створеного регіонального комбінованого розв'язку [1, 10], визначено швидкості горизонтальних рухів земної

поверхні[9] та нанесено на векторизовану тектонічну карту масштабу 1:500000 вектори горизонтальної складової швидкостей координат референцних GNSS-станцій [3]; авторські роботи [2, 4-8, 11].

Апробація результатів роботи. Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи доповідали та обговорювали на таких наукових зібраннях:

- 20-й Міжнародній науково-технічній конференції Геофорум-2015, Львів – Яворів – Брюховичі, 23-25 квітня 2015р.
- Міжнародні наукові конференції «Астрономічна школа молодих вчених», Житомир, 20-22 травня 2015 р.
- 21-й Міжнародній науково-технічній конференції Геофорум-2016, Львів-Брюховичі-Яворів, 13-15 квітня 2016 р.
- 23rd Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics, April 25-30, 2016 Kyiv, Ukraine.
- VI-й Міжнародній науковій конференції «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища», м. Львів, 20–23 вересня 2016 р.
- VIII-й Міжнародній науково-практичній конференції «Нові технології в геодезії, землекористуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні», Ужгород-Синевир, 6-8 жовтня 2016 р.
- Семінарі ГеоГеліоАстрофізика, м. Львів ЛНУ ім. І. Франка, 29 вересня 2016р.
- 22-й Міжнародній науково-технічній конференції Геофорум-2017, Львів-Брюховичі-Яворів, 25-27 квітня 2017 р.
- International Scientific Methodical Conference BALTIC SURVEYING'17, Latvia, Jelgava, 10th – 12th of May, 2017

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 11 наукових праць [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11], 2 статті у науковому періодичному виданні України, що входить до міжнародних наукометричних баз [2, 3], 2 статті у наукових фахових виданнях України [4, 5], 1 стаття в науковому періодичному виданні іншої держави [1] та 6 статей у збірниках тез наукових конференцій [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (141 найменувань) та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 130 сторінок, ілюстрації складають: 26 рисунків, 26 таблиць, додатки А-В.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та її основні завдання, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, сформульовано основні положення, які виносяться на захист, викладено відомості про апробацію роботи, повноту публікацій результатів і їх впровадження.

У першому розділі дисертаційної роботи **«Комбіновані розв'язки та особливості їх застосування при опрацюванні супутникових спостережень з активних референцних GNSS-мереж»** проаналізовано способи створення комбінованих розв'язків, які застосовуються в геодезії.

Комбінованим розв'язком в геодезії називають спільну обробку сукупності результатів багаторазових вимірювань однієї і тієї ж величини. Математично цей процес зводиться до урівнювання (врівноваження). В сучасному розумінні комбінованим розв'язком називають поєднання різних методів космічної геодезії, на підставі певних взаємозв'язків між ними. Основним продуктом комбінування є реалізації систем відліку ITRS та ETRS. При цьому реалізації систем відліку ITRF та ETRF обчислюють за даними спостережень чотирьох методів космічної геодезії: GNSS, VLBI, SLR, і DORIS. Якщо ж використовується тільки один метод, то називати такі розв'язки комбінованими, на нашу думку, недоречно. Саме тому нами було введено такий термін як «об'єднаний в часі розв'язок».

Об'єднаний в часі розв'язок – це спільне опрацювання сукупності GNSS-спостережень за певний період часу. Встановлено, що реалізацію такого розв'язку потрібно виконувати на рівні параметрів за методом найменших квадратів.

В цьому розділі розглянуто особливості створення національних систем відліку на прикладі 12 країн: Австрії, Бельгії, Німеччини, Іспанії, Франції, Угорщини, Італії, Нідерландів, Польщі, Португалії, Словаччини та Норвегії, де кількість задіяних станцій EPN була від 35 для Іспанії до 4 для Португалії.

На основі аналізу процедури згущення EPN для вище перелічених країн та враховуючи регіональні особливості, запропоновано власну методику реалізації національної системи відліку, яка полягає в наступному:

- використанні всіх доступних пунктів IGS/EPN класу A;
- використанні фінальних комбінованих орбіт IGS, включаючи відповідні параметри обертання Землі;
- застосуванні наукових програмних пакетів Bernese або Gamit-Globk;
- використанні координат референцних пунктів в тій же системі, в якій задані орбіти (ITRF-xx);
- координати референцних станцій потім перетворюються до епохи спостережень з використанням швидкостей руху;
- обчисленні координат на епоху спостережень;
- обчисленні середніх значень швидкостей координат мережі станцій;
- обчисленні вектора ротації частини Євразійської плити в межах території України на основі швидкостей координат вибраних GNSS-станцій.
- перетворенні координат до системи ETRF2000, використовуючи обчислені середні швидкості руху станцій і обчислений вектор ротації частини Євразійської плити в межах території України.

Другий розділ дисертаційної роботи **«Інструментарій опрацювання даних супутникових спостережень для мереж референцних GNSS-станцій»** присвячений питанню застосування програмного забезпечення «GAMIT/GLOBK» версії 10.6 та його дослідженню, обґрунтуванню доцільності використовувати цей пакет для опрацювання спостережень референцних GNSS-станцій згідно стандартів Європейської перманентної мережі

На підставі проведеного аналізу літератури та технічних документацій наукових програмних пакетів Bernese та GAMIT/GLOBK висвітлено особливості

цих програмних продуктів. Для створення об'єднаного в часі розв'язку мережі референцих GNSS-станцій України було вибрано програмний пакет GAMIT/GLOBK 10.6.

Представлено вхідні дані для створення об'єднаного в часі розв'язку: результати спостережень з мережі активних референцих GNSS-станцій України за 2013-2016 роки (1721-1929 GPS-тижні). На сьогоднішній день мережа України налічує ~ 200 станцій, з яких понад 120 (рис. 1) безперервно насилають свої дані в центр аналізу LPI (кафедра вищої геодезії та астрономії Національного університету «Львівська політехніка»).

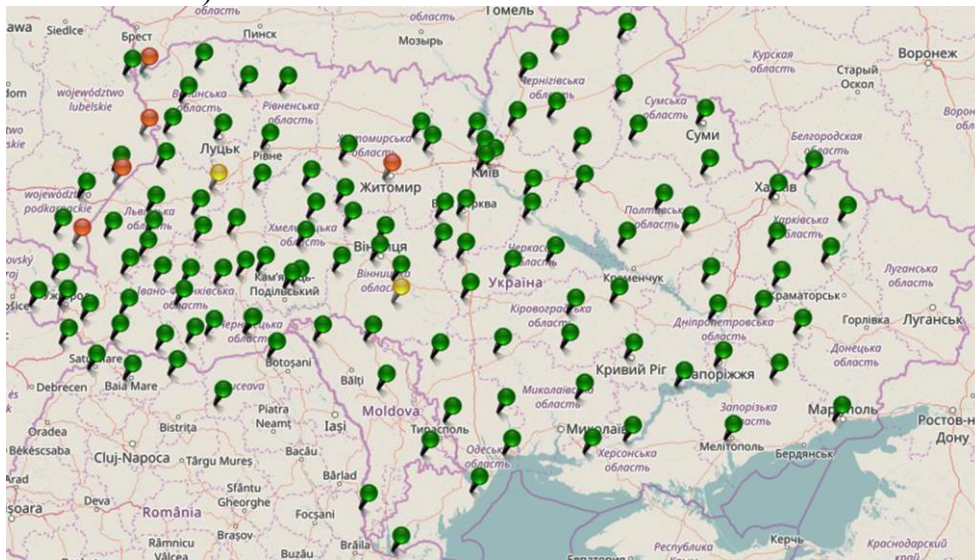


Рис. 1. Мережа активних референцих GNSS-станцій України
[<http://zakpos.zakgeo.com.ua>]

Наведено стратегію обробки спостережень для створення комбінованого розв'язку в програмі Gamit-Globk. Систему відліку було реалізовано за допомогою всіх доступних опорних станцій EPN/IGS (рис. 2) з Польщі (BYDG, JOZ2, LAMA, USDL), Австрії (GRAZ), Молдови (IGEO), Італії (MATE), Росії (MDVJ, ZECK), Німеччини (POTS, WTZR), Латвії (RIGA), Болгарії (SOFI), Литви (VLNS) та України (CNIV, GLSV, MIKL, POLV, SULP, UZHL).

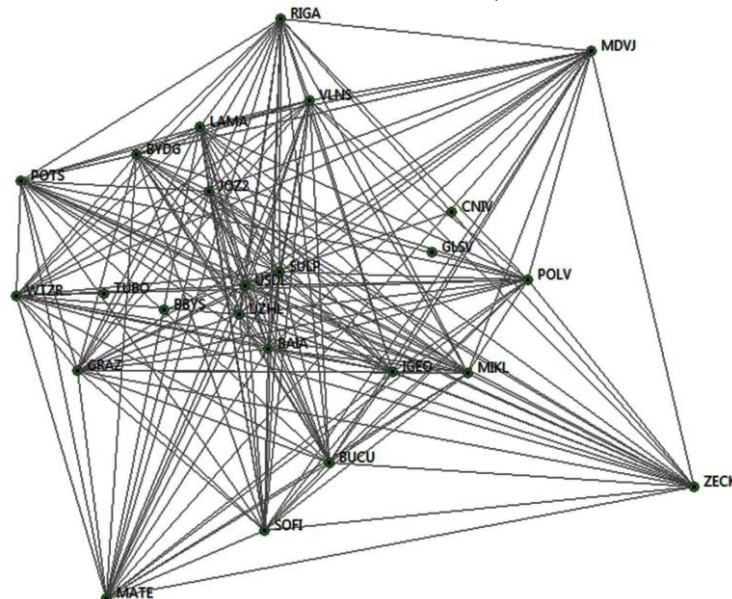


Рис. 2. Мережа опорних GNSS-станцій

Досліджено і встановлено необхідну кількість та конфігурацію опорних станцій і мінімальний період часу для створення об'єднаного в часі регіонального розв'язку. Адже не завжди опорні станції EPN/IGS є рівномірно розподіленими по всій території країни.

Для експерименту було вибрано три різні конфігурації мережі опорних станцій, які представлені на рис.3.

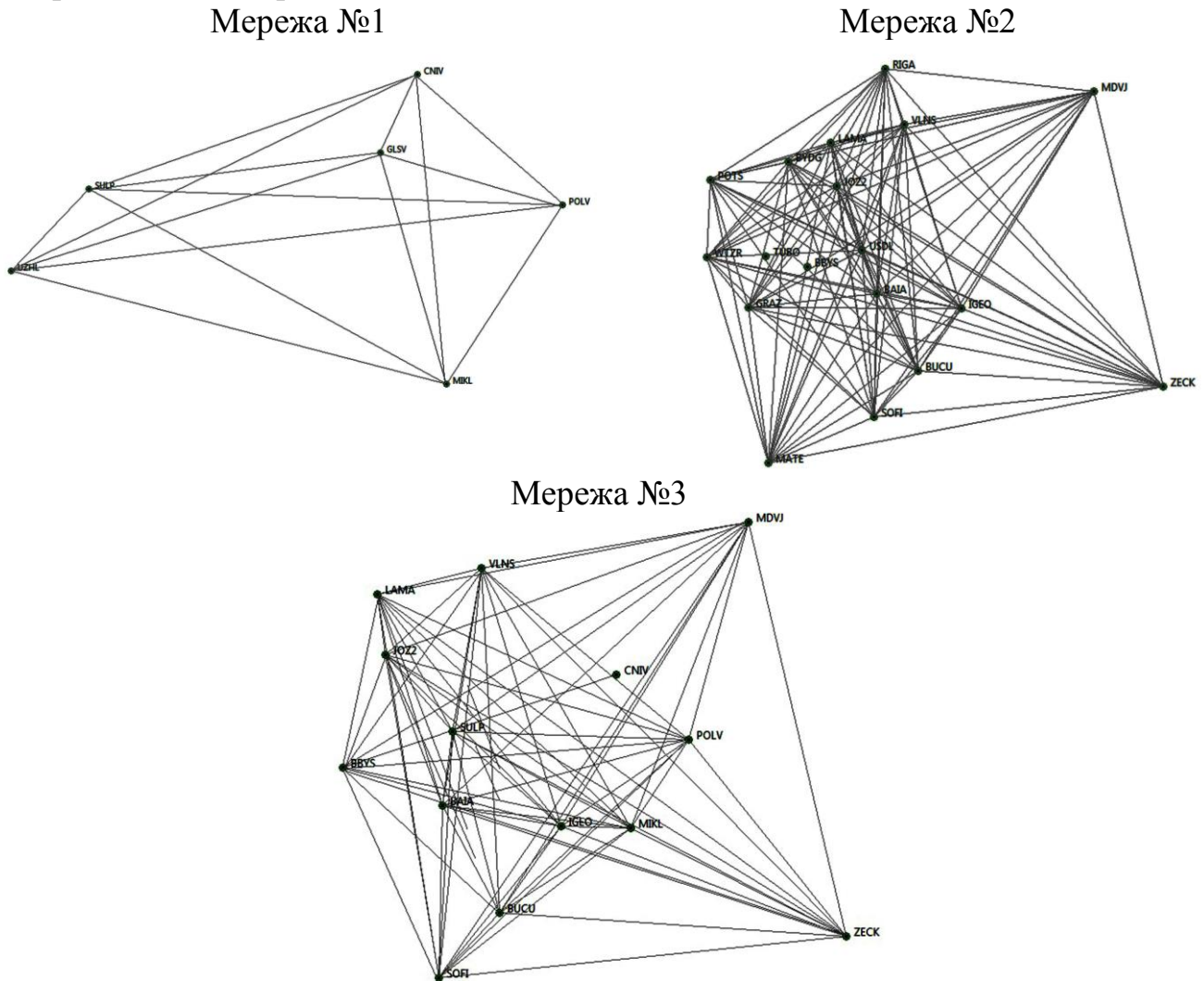


Рис. 3. Схеми мереж опорних станцій

Мережу, представлену на рис. 2 і отриманий об'єднаний в часі розв'язок, що містив чотири GPS-тижні (1878, 1879, 1880, 1881), було взято як контрольний. Виконано порівняння LPI розв'язків з різною тривалістю спостережень (1, 2, 4 тижні) з багаторічними розв'язками всієї європейської мережі, приведеними на епоху спостережень тижневих розв'язків LPI, можна зауважити, що утворені різниці координат та визначені їхні СКП не перевищують 4 мм (див. табл. 2).

Таблиця 2

СКП різниць координат EUREF та LPI розв'язків

Кількість тижнів у комбінованому розв'язку	EUREF-LPI		
	СКП X, мм	СКП Y, мм	СКП Z, мм
1	2.6	1.8	3.7
2	2.6	1.8	3.6
4	2.6	1.7	3.3

Встановлено, що похибка отриманого контрольного об'єднаного в часі розв'язку складає 3.5 мм.

Наступним кроком було отримано об'єднані в часі розв'язки різної тривалості (3 дні, 1, 2, 3, 4 тижні), в яких для реалізації системи відліку взято мережі опорних станцій, представлених на рис. 3. Отримані результати було порівняно з контрольним розв'язком і отримано середньоквадратичні похибки, значення яких наведені в табл. 3.

Таблиця 3

СКП різниць координат еталонної мережі та трьох мереж з різною конфігурацією опорних станцій

№ мережі	СКП X, мм	СКП Y, мм	СКП Z, мм
1	2	3	4
3 дні			
1	1.5	2.1	3.0
2	1.6	2.0	2.7
3	1.6	2.0	2.7
1	2	3	4
1 тиждень			
1	1.3	1.6	2.4
2	1.1	1.3	1.7
3	1.1	1.4	1.8
2 тижні			
1	1.0	1.5	2.6
2	0.8	0.8	1.3
3	0.8	0.9	1.4
3 тижні			
1	0.9	1.2	2.4
2	0.5	0.3	0.5
3	0.5	0.4	0.7
1	2	3	4
4 тижні			
1	0.7	1.0	2.1
2	0.2	0.1	0.3
3	0.3	0.2	0.4

Дослідження різних конфігурацій мереж опорних станцій показало, що використовуючи значно менше їх число, ми не сильно втрачаємо в точності (до 0.5 мм якщо спостереження тривали 4 тижні), що актуально для регіональних мереж, де постійно появляються нові станції і є складність визначення положення станцій за довгий період.

Досліджено оптимальне значення характеристики точності (\max_chii) для нашої мережі, що дало змогу підвищити точність створення об'єднаного в часі розв'язку для території України. Для цього дослідження було створено три розв'язки з різними значеннями \max_chii ($\max_chii1=13\ 3\ 100$; $\max_chii2=100\ 5\ 20000$; $\max_chii3=20\ 10000\ 10000$). Команда \max_chii складається з трьох частин: «максимально допустиме значення χ^2 », «максимальна різниця попередніх нев'язок для координат станції», «допуск для ротації координат станції». З отриманих розв'язків було обчислено кількість врахованих днів за 4 роки (1461 днів). Було

отримано такі результати: $\max_chii1=1164$ дні, $\max_chii2=1177$ дні, $\max_chii3=1044$ дні та виконано порівняння координат з трьох розв'язків (табл.4).

Таблиця 4

Різниці координат між різними значеннями \max_chii

Станції	$\max_chii1- \max_chii2$			$\max_chii1- \max_chii3$			$\max_chii2- \max_chii3$		
	$\Delta X, \text{ мм}$	$\Delta Y, \text{ мм}$	$\Delta Z, \text{ мм}$	$\Delta X, \text{ мм}$	$\Delta Y, \text{ мм}$	$\Delta Z, \text{ мм}$	$\Delta X, \text{ мм}$	$\Delta Y, \text{ мм}$	$\Delta Z, \text{ мм}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ALUS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BALT	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
BRSL	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0
CHER	0	0	0	1	0	2	1	0	2
DNPR	0	0	0	0	0	1	0	0	0
GLPL	-1	0	0	-2	-1	-1	-1	-2	-1
HMEL	0	0	0	0	0	1	0	0	0
KACH	0	0	0	1	-2	1	0	-1	1
KOCH	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
KOVL	0	0	1	0	0	0	0	0	0
KRRS	-4	3	3	-4	3	3	0	0	0
KUCH	0	0	0	0	1	1	0	0	0
MYKO	1	0	1	1	-1	-1	0	-1	-2
NKPL	-1	0	0	-2	0	0	-1	1	0
NVVL	0	1	0	3	-4	-2	4	-6	-1
ODSS	-3	-2	-4	-9	-6	-13	-6	-4	-8
PART	-2	-1	-1	-8	1	-2	-6	1	-1
PHM2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAMB	1	0	0	-2	0	-3	-2	0	-3
SKOL	1	0	1	-2	-2	-3	-2	-1	-4
SKSV	9	4	11	13	6	16	4	2	5
SHEV	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0
SUDA	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SURE	-1	-2	0	-1	-1	0	0	0	1
TELE	0	0	0	0	0	1	0	0	0
VNRS	0	0	0	-1	1	0	0	0	0
ZHAS	0	1	0	0	1	0	0	0	0

Найкращий результат було отримано з \max_chii2 (1177 з 1461 днів), оскільки при цьому значенні отримано необхідну нам точність (згідно вимог IGS) з включенням найбільшої кількості днів.

Виконано апробацію створеного об'єднаного в часі розв'язку мережі активних GNSS-станцій України за 4 роки, шляхом його порівняння з розв'язком EPN за спільними станціями. Основні опції, які використовувалися у двох пакетах представлено в табл. 5.

Таблиця 5

Характеристики програмних пакетів GAMIT-GLOBK і Bernese

Опція	Програмне забезпечення	
	GAMIT-GLOBK	Bernese
Вхідні дані	RINEX	RINEX
Орбіти	Final IGS	Final IGS
Моделі антени	IGS08_www.atx	IGS08_www.atx
Океанічні припливи	FES2004	FES2004
Моделі тропосфери	Saastamoinen	GPT
Тропосферна функція відображення	VMF1	GMF

Обчислені різниці координат представлено на (рис. 4). Координати були розраховані на ту ж епоху, як у нашому розв'язку.

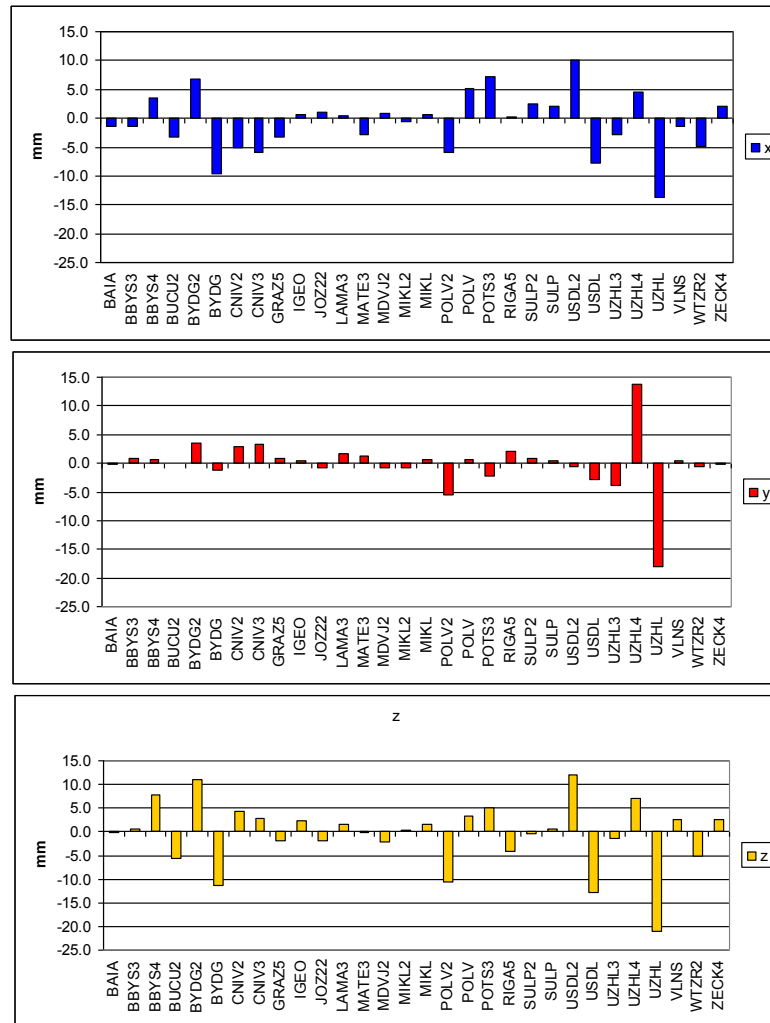


Рис. 4. Порівняння координат спільних станцій з розв'язків EPN та LPI

В таблиці 6 наведено статистичні дані різниць координат.

Таблиця 6

Статистичні дані різниць координат EPN- LPI розв'язків

СКП	X	Y	Z
мм	5.2	4.6	6.9

СКП різниць координат, які отримані в процесі національного опрацювання та з офіційного розв'язку EPN, відповідають вимогам IGS, оскільки не перевищували 1 см.

З кінцевого опрацювання GNSS-даних з референцих станцій України отримано швидкості координат станції по північній (N), східній (E) та висотній (H) компонентах. Щорічні швидкості руху станцій визначено з часових рядів станції, в одиницях мм/рік. Для дослідження точності обчислених швидкостей координат їх аналогічно порівняли з розв'язками EPN по спільних станціях та визначили різниці швидкостей координат (рис.5).

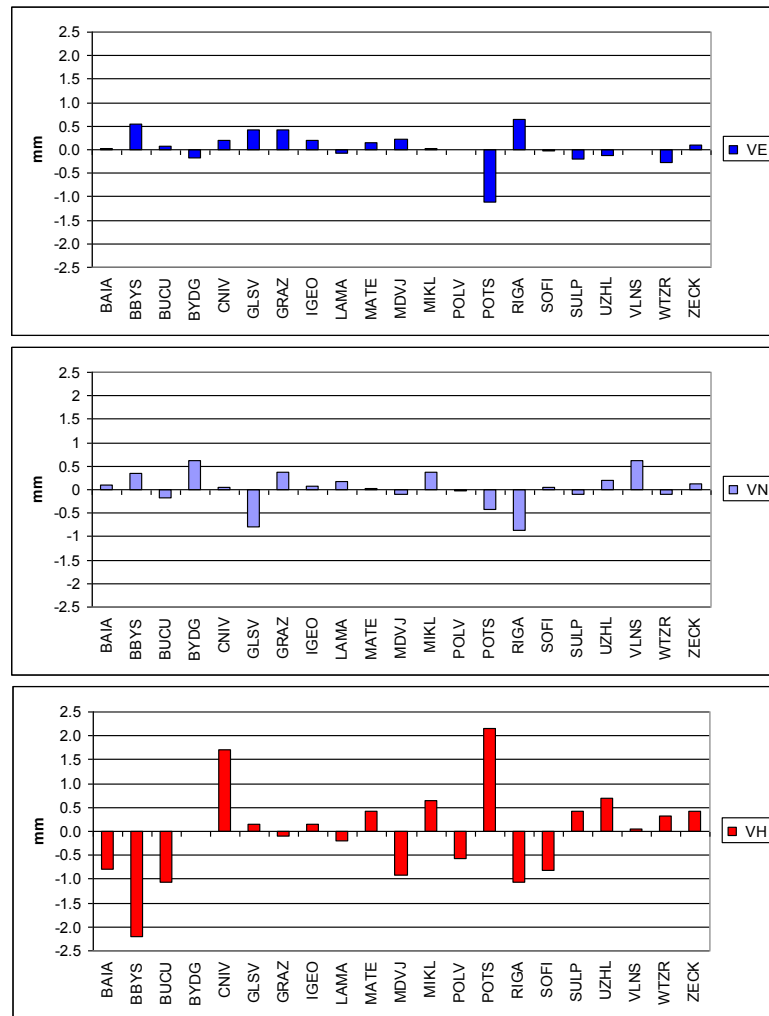


Рис. 5. Порівняння швидкостей координат спільних станцій з розв'язків EPN та LPI

В таблиці 7 наведено статистичні дані різниць швидкостей із двох розв'язків.

Таблиця 7

Статистичні дані різниць швидкостей EPN- LPI розв'язків

	ΔV_E (мм/рік)	ΔV_N (мм/рік)	ΔV_H (мм/рік)
макс.	0.6	0.6	2.2
мін.	-1.1	-0.9	-2.2
сер.	0.1	0.0	0.0
СКП	0.4	0.4	1.0

Стандартне відхилення між швидкостями координат, отриманими в процесі національного опрацювання та офіційного розв'язку IGS/EPN, не перевищувало 0.4 мм по північній і східній компоненті (N і E) та 1 мм по висотній компоненті (H).

Результати дослідження показали, що пакет GAMIT-GLOBK відповідає стандартам IGS та EPN, та в подальшому використовувався для реалізації національної систем відліку, регіональних та місцевих геодинамічних досліджень.

У третьому розділі дисертаційної роботи «Апробація розробленої методики створення національної референційної системи координат та геодинамічна інтерпретація об'єднаного в часі розв'язку» реалізовано розроблену методику створення української національної системи відліку.

Згідно розробленої методики, завершальним етапом створення національної системи відліку була трансформація з системи ITRF до ETRF за допомогою обчисленого вектора ротації плити на основі швидкостей координат вибраних GNSS-станцій. На сьогоднішній день прийнятою формулою переходу від системи ITRF до ETRF є:

$$X^E(t_c) = X_{YY}^I(t_c) + T_{YY} + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{R3}_{YY} & \dot{R2}_{YY} \\ \dot{R3}_{YY} & 0 & -\dot{R1}_{YY} \\ -\dot{R2}_{YY} & \dot{R1}_{YY} & 0 \end{pmatrix} \times X_{YY}^I(t_c) \bullet (t_c - 1989.0) \quad (1)$$

Щоб звести до мінімуму відхилення ETRF-розв'язків, як альтернативу для обчислення трансформації, було застосовано статичну ротацію полюса Ейлера.

$$X^E(t_c) = X_{YY}^I(t_c) + R_{E14} \times X_{YY}^I(t_c) + \begin{pmatrix} 0 & -\dot{R3}_{YY} & \dot{R2}_{YY} \\ \dot{R3}_{YY} & 0 & -\dot{R1}_{YY} \\ -\dot{R2}_{YY} & \dot{R1}_{YY} & 0 \end{pmatrix} \times X_{YY}^I(t_c) \bullet (t_c - 1989.0) \quad (2)$$

$$\text{Де } R_{E14} \times X_{YY}^I(t_c) = \begin{pmatrix} 0 & -R3_{E14} & R2_{E14} \\ R3_{E14} & 0 & -R1_{E14} \\ -R2_{E14} & R1_{E14} & 0 \end{pmatrix} \times X_{YY}^I(t_c) \quad (3)$$

Якщо для ряду точок плити інструментально визначені лінійні швидкості, то положення полюсу Ейлера і кутова швидкість можуть бути встановлені аналітично. Такими точками для нашого дослідження слугували референсні GNSS-станції.

Зв'язок швидкості зміщення референсної станції з координатами полюса Ейлера та її кутовою швидкістю обертання в геодезичних координатах представлено виразами:

$$V_B = \Omega \cos(\Phi) \sin(L - \Lambda) \quad (4)$$

$$V_L = \Omega (\sin(\Phi) \cos(B) - \cos(\Phi) \sin(B) \cos(L - \Lambda)) \quad (5)$$

де Ω – кутова швидкість обертання плити;

Φ , Λ – координати полюса обертання (Ейлера);

B , L – координати перманентної станції.

За допомогою програмного пакету GAMIT-GLOBK було обчислено параметри ротації частини Євразійської плити в межах території України за допомогою вибраних GNSS-станцій: KHAR, MIKL, POLV, SULP, UZHL.

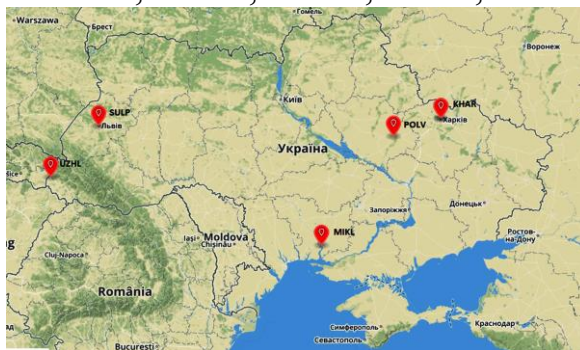


Рис. 6. Схема розташування GNSS-станцій для обчислення параметрів полюсу Ейлера

Обчислені параметри ротації частини Євразійської плити в межах території України наведено в табл. 8.

Таблиця 8

Обчислені параметри ротації частини Євразійської плити в межах території України

$R1_{E14}$, °/млн.р	$R2_{E14}$ °/млн.р	$R3_{E14}$ °/млн.р
-0.054270±0.013	-0.191133±0.021	0.120273±0.006

Обчислені параметри ротації частини Євразійської плити в межах території України було прийнято за рух плити та обчислено об'єднаний в часі розв'язок (координати та швидкості координат) для всіх станцій мережі України. Отриману систему відліку було названо IGukr08, а самі результати по суті є розв'язком рівняння (3).

Для перетворення отриманих координат IGukr08 до системи ETRS89 та її реалізації ETRF2000 було вибрано 28 станцій, які входять в мережу IGS/EPN та українські референсні станції з найдовшим періодом спостережень. Потім було обчислено їх середні швидкості руху, які представлені в таблиці 9.

Таблиця 9

Швидкості координат референсних станцій в системі IGukr08

Станція	V_x , (мм/рік)	V_y , (мм/рік)	V_z , (мм/рік)
BAIA	-7.1	8.5	2.6
BBYS	-7.9	8.4	1.5
BUCU	-5.8	9.8	2.9
BYDG	-6.2	7.1	2.6
CNIV	-7.5	7.4	4.1
GLSV	-7.8	7.3	1.6
GRAZ	-6.0	10.4	4.3
HMEL	-2.3	9.0	8.3
IGEO	-7.5	7.8	2.9
JOZ2	-6.3	7.3	2.1
KHAR	-5.4	7.3	0.7
LAMA	-7.0	6.9	1.7
MATE	-6.5	11.5	8.9
MDVJ	-10.4	4.5	-0.1
MIKL	-8.3	7.7	2.8
MUKA	-7.2	8.6	2.2
PHM2	-6.8	5.5	6.1
POLV	-9.5	5.1	1.0
POTS	-3.2	7.2	4.1
RIGA	-6.6	7.1	0.7
SOFI	-6.1	10.8	2.0
SULP	-6.8	7.5	2.9
TREB	-6.6	9.2	3.6
USDL	-6.8	7.6	2.4
UZHL	-6.1	8.5	3.5
VNRS	-10.1	2.6	1.1
WTZR	-4.1	9.2	4.0
ZECK	-10.6	6.7	3.1
сеп.	-6.9	7.8	2.9

Отримані середні швидкості координат $V_{Xc} = -6.9$ (мм/рік), $V_{Yc} = 7.8$ (мм/рік), $V_{Zc} = 2.9$ (мм/рік) були прийняті за ротаційні швидкості \dot{R}_{1YY} , \dot{R}_{2YY} , \dot{R}_{3YY} з (1) для переходу до системи ETRF2000 на епоху 2015.00 для всієї території України. Фрагмент обчисленого об'єднаного в часі розв'язку наведено в таблиці 10, а отримані середні швидкості для переходу між різними реалізаціями ETRF наведено в таблиці 11.

Таблиця 10

Координати перманентних станцій в системі ETRF2000 UKR

Станція	X, мм	Y, мм	Z, мм
BAIA	3945840.1241	1720428.0483	4691082.4967
BBYS	3980359.1457	1382291.8734	4772771.7513
BYDG	3647217.2026	1184604.0816	5079624.9509
CNIV	3397785.5575	2066990.3285	4969811.3353
GRAZ	4194424.1107	1162702.4685	4647245.1897
IGEO	3814975.6389	2101074.9500	4644143.7698
JOZ2	3664880.9070	1409190.3878	5009618.2712
KHAR	3312984.7325	2428203.2584	4863307.6417
LAMA	3524523.2523	1329693.4290	5129846.1505
MATE	4641949.8282	1393045.1719	4133287.2711
MDVJ	2845456.4588	2160954.0799	5265993.0451
MIKL	3698554.3671	2308675.7973	4639769.2857
POLV	3411557.7401	2348463.7631	4834396.7072
POTS	3800689.9419	882077.1698	5028791.1134

Таблиця 11

Середні швидкості координат між реалізаціями ETRS89 для території України

V_X , (мм/рік)	V_Y , (мм/рік)	V_Z , (мм/рік)
1.4	-2.0	5.4

Для дослідження точності обчислених координат їх порівняли з розв'язками EPN по спільних станціях та визначили різниці координат (див. табл.12).

Таблиця 12

Значення різниць координат EPN- LPI розв'язків

Станція	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔZ , мм
BAIA	-2.4	4.8	-7.8
BBYS	5.5	0.4	-7.2
BYDG	-1.0	1.0	-14.3
CNIV	-4.5	1.5	-11.7
GRAZ	-5.3	7.0	-9.3
IGEO	-17.1	0.5	-17.7
JOZ2	-1.0	4.8	-8.3
KHAR	-4.1	-31.7	11.2
LAMA	-2.7	3.5	-9.5
MATE	-3.8	5.9	7.6
MDVJ	-6.7	-3.1	-13.9
MIKL	1.1	-0.2	-11.3
POLV	-0.4	-23.4	-1.8
POTS	6.4	1.8	-5.6
RIGA	-0.4	2.9	-11.9
SOFI	3.7	7.8	-2.8
SULP	-0.4	2.7	-7.6
USDL	-2.0	0.8	-13.1
UZHL	-3.0	0.2	-9.8
VLNS	-6.1	0.2	-13.5
WTZR	-1.7	5.8	-11.6
СКП	4.9	9.5	7.0

Стандартне відхилення між швидкостями координат, отриманими в процесі національної обробки, та офіційним розв'язком IGS/EPN не перевищує 5 мм по X, 10 мм по Y та 7 мм по Z.

Отриманий об'єднаний в часі розв'язок дозволяє при відомих припущеннях оцінювати швидкість деформування значних регіонів, тобто проводити геодинамічну інтерпретацію основних тектонічних структур на території України, а саме Східноєвропейської платформи (Український щит, Волино-Подільська плита) та Середземноморського рухомого поясу (Карпатська складчаста система). Вибір таких тектонічних структур був зумовлений, розташуванням на цій території великої кількості доступних для опрацювання GNSS-станцій, що дало змогу зробити статистичний аналіз отриманих швидкостей координат. У роботі використано загальноприйнятий трикомпонентний спосіб представлення змін координат (швидкостей), що можуть трактуватися в геодинамічному аспекті, це зміни в трьох взаємно перпендикулярних напрямках: вертикальному (H-компонента) та двох горизонтальних, зорієнтованих на північ (N-компонента) і схід (E-компонента). Значення швидкостей координат референцних станцій України для основних тектонічних структур наведено у таблиці 13.

Таблиця 13

Статистичні дані швидкостей координат для трьох основних тектонічних структур України

Значення	V_E (мм/рік)	V_N (мм/рік)	V_H (мм/рік)
1	2	3	4
Карпатська складчаста область			
<i>Мак.</i>	23.1	14.6	2.8
<i>Сер.</i>	22.0	13.8	0.3
Волино-подільська плита			
<i>Мак.</i>	23.9	14.7	4.0
1	2	3	4
<i>Сер.</i>	22.2	13.7	1.8
Український щит			
<i>Мак.</i>	25.3	14.9	3.6
<i>Сер.</i>	23.0	12.9	0.5

Різниця між середніми значеннями швидкостей координат для трьох основних тектонічних структур становить від 1 до 1.5 мм.

Для аналізу виявлених рухів на території України та оцінки швидкостей окремих тектонічних структур, було нанесено на векторизовану тектонічну карту масштабу 1:500000 обчислені з об'єданого в часі розв'язку вектори горизонтальних швидкостей координат та створено базу даних цих векторів (довжин і азимутів), визначених за даними спостережень на всіх GNSS-станціях. В подальшому, із збільшенням кількості референцних станцій на території України чи їх тривалості, дані створеної бази електронної карти також будуть доповнюватися. Фрагмент створеної карти з наведеними горизонтальними векторами швидкостей представлено на рисунку 7.



Рис. 7. Фрагмент електронної тектонічної карти з векторами горизонтальної складової швидкостей координат референцих станцій України

Компоненти руху всіх станцій відображають майже однорідний характер. Вектори швидкостей координат напрямлені у сторону Воронезького кристалічного масиву. Ці тренди векторів є в кореляції з геологічними та геофізичними матеріалами регіону України.

За результатами проведеного аналізу горизонтальних і вертикальних швидкостей координат референцих станцій на території України зроблені такі висновки: а) горизонтальні швидкості координат референцих GNSS-станцій в переважній більшості відповідають геологічним та геофізичним даним щодо проявів тектонічних рухів досліджуваної території; б) вертикальні швидкості координат не завжди відповідають існуючим даним щодо вертикальних тектонічних рухів, а для їх нової геодинамічної інтерпретації потрібно збільшення часового інтервалу GNSS-спостережень; в) числові характеристики проявів геодинамічних рухів регіонального масштабу безпосередньо залежать від густоти розміщення референцих GNSS-станцій і тривалості спостережень; г) взаємне послідовне поєднання швидкостей змін координат референцих GNSS-станцій з геолого-геофізичними даними дозволить створити геодинамічну модель території України.

ВИСНОВКИ

1. Виконано огляд систем відліку, які на сьогоднішній день застосовують в геодезії, а також організацію та роботу національних мереж референцих GNSS-станцій Європи, що дало можливість розглянути підходи до створення національної загальноєвропейської референцих системи ETRS89 та її реалізації ETRF2000 і запропонувати власну методику згущення ETRF2000 до національних масштабів,

особливістю якої є визначення параметрів ротації частини Євразійської плити в межах території України.

2. Досліджено можливості отримання об'єднаних в часі регіональних розв'язків, використовуючи невеликий часовий період спостережень: від трьох днів до чотирьох тижнів (місяць), та різні конфігурації мереж опорних станцій. Виявлено, що застосовуючи значно меншу кількість опорних станцій (актуально для регіональних мереж), точність понижується всього до 0.5 мм якщо використовувати спостереження тривалістю у 4 тижні.

3. Експериментально встановлено оптимальне значення характеристики точності χ^2 (chi-квадрат) ($\max_chii2 = 100\ 5\ 20000$). Саме при такому значенні можна отримати необхідну точність розв'язку (згідно вимог IGS) з включенням найбільшої кількості днів (1177 з 1461 днів). В подальшому встановлене значення характеристики точності χ^2 було використано в програмному забезпеченні GAMIT-GLOBK для визначення координат та їх змін в часі.

4. Виконано опрацювання супутникових спостережень мережі активних референцних GNSS-станцій України за період 2013-2016 років, використовуючи рекомендовані IGS та EPN продукти і моделі, та обчислено об'єднаний в часі розв'язок.

5. Проведено апробацію отриманого об'єднаного в часі розв'язку з програмного пакету GAMIT/GLOBK шляхом його порівняння з розв'язком EPN, який створено програмою Bernese. Оскільки середньоквадратичні похибки між розв'язками складають 4-7 мм для координат та 0.4 мм для швидкостей координат, можна вважати оптимальним використання даного програмного пакету для створення об'єднаних в часі розв'язків за стандартами IGS та EPN, які в подальшому можуть використовуватися для реалізації національної системи відліку, регіональних та місцевих геодинамічних досліджень.

6. Реалізовано розроблену методику створення української національної системи відліку та наведено ряди координат в національній системі відліку ETRF2000_UKR. Для цього було обчислено параметри ротації частини Євразійської плити в межах території України за вибраними GNSS-станціями. Визначені параметри ротації було прийнято за рух частини Євразійської плити, що дало можливість підвищення точності регіональних реалізацій ETRF, отриманих у різні епохи спостережень.

7. На основі отриманого об'єднаного в часі розв'язку розглянуто можливість інтерпретації швидкостей координат референцних станцій як геодинамічних параметрів стосовно основних тектонічних структур на території України. Різниця між середніми значеннями швидкостей координат між трьома основними тектонічними структурами (Карпатська складчаста область, Волино-Подільська плита та Український щит) по східній компоненті (E) становить 1 мм, північній компоненті (N) – 0.9 мм, а по вертикальній (H) – 1.5 мм.

8. Нанесено на векторизовану тектонічну карту масштабу 1:500000 обчислені з об'єднаного в часі розв'язку вектори горизонтальних швидкостей координат, які є в межах 22-25 мм/рік і мають напрям в сторону Воронезького кристалічного масиву. Горизонтальні швидкості координат референцних GNSS-станцій в переважній більшості відповідають геологічним та геофізичним даним щодо проявів тектонічних рухів досліджуваної території, вертикальні – потребують збільшення

часового інтервалу спостережень для підвищення точності та їх нової геодинамічної інтерпретації.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

• Стаття в науковому періодичному виданні іншої держави (Латвія):

1. S. Doskich. Densification ITRF08 into Ukraine area. / S. Savchuk, S. Doskich // Scientific journal "BALTIC SURVEYING" – 2017/1 (ISSN 2255 – 999X) – Vol.6 – p.33-38

• Статті в наукових періодичних виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз даних:

2. С. Доскіч. Оцінка точності регіонального комбінованого GNSS розв'язку. /С. Доскіч // Геодезія, картографія і аерофотознімання – 2016 - Вип. 83 – С.34-42

3. S. Doskich. Monitoring of crustal movements in Ukraine using the network of reference GNSS-stations. / S. Savchuk, S. Doskich // Scientific journal "Geodynamics", Volume 2(23) 2017, p. 7-13

• Публікації у наукових фахових виданнях України:

4. С. Доскіч. Застосування програмного пакета GAMIT-GLOBK для створення регіональних комбінованих GNSS розв'язків. / С. Доскіч // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - 2016. - Вип. 1. - С. 59-62.

5. С. Доскіч. Математичні принципи створення комбінованих GNSS розв'язків. /С. Доскіч // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - 2016. - Вип. 2. - С. 79-82.

• Публікації у збірниках матеріалів конференцій:

6. С. Доскіч. Про реалізацію земної референцної системи в національному масштабі. Міжнародна наукова конференція «Астрономічна школа молодих вчених Україна, Житомир, 20-22 травня 2015 р. Програма і тези доповідей – 2015 – С.22-23

7. С. Доскіч. Оцінка точності комбінованого розв'язку регіональної мережі GNSS станцій. Програма та тези конференції Геофорум-2016 – 2016 - С. 28-29.

8. S. Doskich. Geodynamics and Troposphere research using the software GAMIT-GLOBK. Abstracts 23rd Young Scientists' Conference on Astronomy and Space Physics – 2016 - P. 34-35.

9. С. Савчук, С. Доскіч. Дослідження оптимального часового інтервалу комбінування даних GNSS спостережень для геодинаміки. Матеріали VI Міжнародної наукової конференції «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища» - 2016 - С. 121-123

10. С.В. Доскіч, А.О. Марко. Порівняння координатних розв'язків з програмних пакетів GAMIT-GLOBK і GIPSY-OASIS. Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Нові технології в геодезії, землекористуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні» - 2016 - С. 247-249

11. С. Доскіч. Дослідження геодинамічних впливів на зміну координат активних GNSS станцій України. Інформаційний бюлетень науково-освітнього консорціуму ГеоГеліоАстрофізика - 2017– С. 23-24

АНОТАЦІЯ

Доскіч С.В. Комбінований розв'язок координат активних референцних GNSS станцій України. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія». – Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2017.

У дисертаційній роботі на основі аналізу національних систем відліку країн Європи, розроблено алгоритм згущення Загальноєвропейської референцної системи ETRF2000 до національних масштабів (території України). Розглянуто програмні продукти для створення комбінованих розв'язків для GNSS спостережень і обрано пакет GAMIT/GLOBK версії 10.6, в якості основного інструменту для опрацювання GNSS мережі України. Виконано обробку спостережень мережі активних референцних GNSS станцій України за період 2013-2016 років. Досліджено оптимальне значення міри точності χ^2 (chi-квадрат) ($\max_chi^2 = 100\ 5\ 20000$), яке використовувалося в програмному забезпеченні GAMIT-GLOBK для визначення координат і швидкостей координат станцій. Виконано апробацію отриманого комбінованого розв'язку з програмного пакету GAMIT/GLOBK шляхом його порівняння з розв'язком EPN, який створено програмою Bernese. Було нанесено на векторизовану тектонічну карту масштабу 1:500000 обчислені з об'єднаного в часі розв'язку векторами горизонтальних швидкостей координат та виконано інтерпретацію отриманих результатів. Вектори горизонтальних складових швидкостей координат станцій мають чітку тенденцію напряму до Воронезького кристалічного масиву. Показники швидкостей координат є в межах 22-25 мм/рік. В майбутньому, з продовженням часового інтервалу таких спостережень планується створити регіональну геодинамічну модель України. Визначено параметри ротації частини Євразійської плити в межах території України, що дало змогу підвищити точність визначення вектора зміщень референцних станцій порівняно з уже наявними моделями.

Ключові слова: комбінований розв'язок, референцна GNSS-станція, згущення мережі, горизонтальний рух земної кори, тектонічна структура, ротаційні параметри.

АННОТАЦИЯ

Доскич С.В. Комбинированный решение координат активных референсных GNSS станций Украины. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – геодезия, фотограмметрия и картография. – Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2017.

В диссертационной работе на основе анализа рассмотренных национальных систем отсчета, разработан алгоритм сгущения Общеевропейской референсной системы ETRF2000 к национальным масштабам (территории Украины). Рассмотрены программные продукты для создания комбинированных решений для

GNSS наблюдений и избран пакет GAMIT / GLOBK версии 10.6, в качестве основного инструмента для обработки GNSS сети Украины. Выполнено обработку наблюдений сети активных референсных GNSS станций Украины за период 2013-2016 годов. Исследовано оптимальное значение степени точности (χ^2 -квадрат) ($\max_chii2 = 100\ 5\ 20\ 000$), которое использовалось в программном обеспечении GAMIT-GLOBK для определения координат и скоростей координат станций. Выполнено апробацию полученного комбинированного развязку с программного пакету GAMIT/GLOBK путем его сравнения с решением EPN, созданный программой Bernese. Было построено электронную тектоническую карту масштаба 1: 500000 с указанными векторами горизонтальной составляющей скорости координат референсных GNSS станций и выполнено интерпретацию полученных результатов. Векторы горизонтальных составляющих скоростей координат станций имеют четкую тенденцию направления к Воронежскому кристаллическому массиву. Показатели скоростей координат находится в пределах 22-25 мм / год. В будущем, с продлением временного интервала таких наблюдений, планируется создать региональную геодинимическая модель Украины. Определены параметры ротации части Евразийской плиты в пределах территории Украины, что позволило повысить точность определения вектора смещений референсных станций по сравнению с уже имеющимися моделями.

Ключевые слова: комбинированные решение, референсная GNSS-станция, сгущение сети, горизонтальное движение земной коры, тектоническая структура, ротационные параметры.

ABSTRACT

Doskich S.V. Combined solution of coordinates of active reference GNSS stations of Ukraine. – On the rights of manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences by specialty 05.24.01 – Geodesy, photogrammetry, and cartography. – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2017.

This thesis is devoted to theoretical and practical researches which are connected with the increase by the accuracy of coordinates by estimation of combined solution for active reference GNSS stations of Ukraine.

We investigated the combined solutions, reference systems, and reference frames that are currently used in space geodesy. Also, the organization and operation of national networks of reference GNSS stations in Europe (Austria, Belgium, Germany, Spain, France, Hungary, Italy, Netherlands, Poland, Portugal, Slovakia and Norway) were investigated. Based on the analysis of the considered national reference systems, we developed the algorithm for the densification of the European Terrestrial Reference Frame ETRF2000 to the national scale (the territory of Ukraine). The result of this step should be the realization of the ETRF2000 for the network of active reference GNSS stations in Ukraine.

Software products are considered for the estimation of combined solutions for GNSS observations. Particular attention was paid to GAMIT/GLOBK version 10.6 as the main tool for processing GNSS network of Ukraine. The observations from the network of

active reference GNSS stations of Ukraine for the period of 2013-2016 years were processed. During processing, we used the recommendations for densification of ITRF for national networks and all available IGS products. Reference frame were realized by the EPN/IGS stations from Poland (BYDG, JOZ2, LAMA, USDL), Austria (GRAZ), Moldova (IGEO), Italy (MATE), Russian (MDVJ, ZECK), Germany (POTS, WTZR), Latvia (RIGA), Bulgaria (SOFI), Lithuania (VLNS), and Ukraine (CNIV, GLSV, MIKL, POLV, SULP, UZHL).

The optimal value of the measure of goodness-of-fit χ^2 (chi-square) ($\max_chii2 = 100\ 5\ 20000$), which was used in the software GAMIT-GLOBK to determine the coordinates and velocities of stations, was investigated. The estimated combined solution from the GAMIT/GLOBK software was tested by comparing it with the EPN solution created by the Bernese software. The RMS deviations between the solutions are 4-7 mm for coordinates and 0.4 mm for velocities. Considering the small values of the errors between the calculated GAMIT/GLOBK solution and the EPN solution, the GAMIT/GLOBK software can be used to estimate combined solutions that can subsequently be used for regional and local geodynamic studies, geophysical interpretation, and many practical applications in geodesy.

The parameters of the rotation of the Eurasian plate within the territory of Ukraine were determined, which made it possible to improve the accuracy of the determination of the displacement vector of permanent stations in comparison with the existing models. The transformation from the ITRF to the ETRF was performed using calculated rotation parameters of the Eurasian plate within the territory of Ukraine based on the velocities of selected GNSS stations.

An electronic tectonic map of scale 1: 500 000 with the indicated vectors of the horizontal velocities of the reference GNSS stations was constructed and the received results were interpreted. The vectors of the horizontal velocities of the stations have a clear tendency towards the Voronezh Crystalline Massif. Horizontal velocities are within the range of 22-25 mm / year. In the future, with the extension of the time interval of such observations, it is planned to create a regional geodynamic model of Ukraine.

Keywords: combined solution, reference GNSS station, network densification, horizontal movement of the earth's crust, tectonic structure, rotation parameters.