

№ 6. – С.7-17. 8. Heiskanen W. A. *Physical geodesy*.—Graz, 2005.—С.403. 9. Marchenko A., Barthelmes F., Meyer U., Schwintzer P. *Regional geoid determination: an application to airborne gravity data in the Skagerrak* // Scientific technical report STR 01/07. – Germany, June, 2001. 10. Rogowski J. B., Barlik M., Kujawa L., Marganski S., Pachuta A., Piraszewski M., Walo J., Hefty J., Husar L. *Determination of geoidal heights in the test field at Grybów – status report'94* // Reports on geodesy: Politechnika Warszawska. – Warszawa, 1995.— № (4)17 – P. 19-33. 11. <http://gki.com.ua>.

УДК 528.063

І. Цюпак¹⁾, С. Савчук¹⁾, Я. Бойчук²⁾¹⁾Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів²⁾Інститут управління природними ресурсами, м. Коломия

ПРО ТОЧНІСТЬ ДВОВИМІРНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТИВ

©Цюпак І., Савчук С., Бойчук Я., 2007

Выполнены исследования точности превращения плоских координат пунктов из геоцентрической системы отсчёта в локальную по определяемым параметрам трансформации. Исследуется зависимость указанных параметров от долготы осевого меридиана, к которому относятся координаты пунктов, используемые для их определения, а также определение размеров поверхности Земли, для которых их использование возможно.

This paper studies the accuracy of the transformation of 2-dimension coordinates points with are geocentric into the local frame. From the analysis of the results of the investigation had been drawn the conclusions.

Постановка задачі.

Трансформування координат пунктів, отриманих за допомогою GPS, у Державну (локальну) систему координат виконуються або у просторовій [1, 3], або в плоскій (двовимірні перетворення) системі координат [1, 4], отриманій як певна проекція земного еліпсоїда на площину. При створенні геодезичної основи для топографічних або кадастрових знімків та при виконанні інженерно-пошукових робіт користуються плоскою системою координат. У випадку територій, коли пункти розміщені у різних зонах проекції Гаусса-Крюгера еліпсоїда на площину, або на границі двох зон, виникає питання про можливість використання параметрів трансформації, визначених в одній зоні, для перетворення координат пунктів, віднесених до іншої зони. Тому метою даної статті є дослідження похибок трансформації плоских координат пунктів в залежності від їхнього місцеположення відносно осевого меридіану зони, в якій визначені параметри трансформації. Зокрема, отримаємо відповідь на наступні запитання.

1. Як змінюються похибки перетворення координат в залежності від параметрів трансформації, визначених за координатами пунктів, що віднесені до сусідньої зони?
2. Для яких розмірів поверхні Землі можна використовувати параметри трансформації?

Геодезична мережа. Поставлена задача виконується на геодезичній мережі 28 GPS-пунктів країн Центральної Європи (рис. 1). Відомі [2] просторові координати цих пунктів в геоцентричній системі координат ITRF-2000, а також у локальній системі. Геоцентричні просторові прямокутні координати пунктів були переобчислені в геодезичні координати B , L , H відносно геоцентричного

еліпсоїда GRS-80, а локальні – відносно еліпсоїда Красовського. За координатами B, L обчислені плоскі прямокутні координати x, y в проекції Гаусса-Крюгера геоцентричного еліпсоїда та локального, відповідно.

Зазначимо, що максимальна різниця довгот пунктів (TUBI і ZIMM) даної мережі $\sim 22^\circ$ (від $7^\circ 28'$ до $29^\circ 27'$). Таким чином, пункти розміщені у 4-ох зонах, але в зоні 6° - 12° знаходиться тільки один пункт ZIMM. Розподіл числа пунктів за зонами подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Розподіл числа пунктів за зонами проекції Гауса-Крюгера

Кількість усіх пунктів	Кількість пунктів у кожній зоні			
	$6^\circ - 12^\circ$ ($L_0=9^\circ$)	$12^\circ - 18^\circ$ ($L_0=15^\circ$)	$18^\circ - 24^\circ$ ($L_0=21^\circ$)	$24^\circ - 30^\circ$ ($L_0=27^\circ$)
28	1	8	10	9

Враховуючи, що геодезична мережа розміщена у кількох зонах, обчислимо координати усіх 28 пунктів відносно осьових меридіанів L_0 15° , 21° і 27° . При цьому зазначимо, що осьовий меридіан, який найближчий до середнього меридіану мережі дорівнює $L_0=21^\circ$.

Визначення параметрів трансформації координат, віднесених до різних осьових меридіанів. Визначимо параметри трансформації за координатами пунктів, обчисленими відносно різних осьових меридіанів L_0 , наприклад 15° , 21° , 27° , 33° і 39° . При цьому визначення здійснимо за всіма 28-и пунктами мережі та за координатами тих пунктів, що входять до кожної із зон окремо. За отриманими параметрами виконаємо перетворення координат усіх 28-ми пунктів і обчислимо середні квадратичні похибки цих перетворень. Оскільки результатів обчислень таких досліджень так багато, що їх неможливо привести у даній статті навіть звівши основні з них у таблиці, тому, для наочності, покажемо отримані параметри трансформації та точність перетворень для випадку координат пунктів, обчислених відносно осьового меридіану $L_0=21^\circ$ у таблиці 2, і для зони $18^\circ - 24^\circ$ – параметри трансформації та точність перетворень усіх 28-ми пунктів, обчислених відносно інших осьових меридіанів, тобто 15° , 21° , 27° , 33° і 39° , у таблиці 3.

За результатами таблиці 2 зазначимо, що параметри трансформації, визначені за різною кількістю пунктів, які, до того ж, знаходяться у різних зонах, хоча їх координати віднесені до одного осьового меридіану ($L_0=21^\circ$), відрізняються так само, як і точність перетворення. При цьому зміни параметрів c_1 , c_2 , μ , α від зони до зони не систематичні, крім кута повороту осей координат α і суттєво менші, ніж визначені за координатами тих же пунктів, обчисленими відносно інших осьових меридіанів, що видно із таблиці 3. Середні квадратичні похибки перетворення координат пунктів певної зони за параметрами трансформації, визначеними за координатами пунктів тієї ж зони є суттєво кращими (менше 5 см), ніж такі ж похибки обчислені для усіх 28-ми пунктів, розміщених у кількох зонах (порівняйте другу і останню колонки табл. 2). Якщо ж середня квадратична похибка перетворення координат, що може досягати 30 см, є достатньою, тоді можна використовувати такі параметри. Але, при цьому, необхідно врахувати, що максимальна похибка перетворення може досягати 50 - 60 см для найвіддаленіших пунктів даної мережі.

Таблиця 2

Параметри трансформації, визначені за координатами пунктів, які знаходяться у певній зоні проекції Гауса-Крюгера

	m_{xy} розв'яз- ку, м	c_1 , м	c_2 , м	Масшт. коефіц. $\mu \times 10^{-6}$	α , ° ' "	m_{xy} транс- форм., м
$L_0 = 21^\circ$						

6° - 30°	0,102	-94,315	-140,424	5,468	180°22'39,8"	0,110
28 пунктів		±0,184	±0,184	±0,052		
6° - 18°	0,049	-94,655	-138,247	5,380	184°55'06,6"	0,247
9 пунктів		±0,256	±0,256	±0,071		
12° - 18°	0,036	-94,393	-138,665	5,432	184°01'32,7"	0,210
8 пунктів		±0,229	±0,229	±0,064		
18° - 24°	0,044	-93,487	-140,465	5,622	180°13'15,4"	0,141
10 пунктів		±0,213	±0,213	±0,062		
24° - 30°	0,018	-93,676	-142,831	5,582	175°10'07,4"	0,260
9 пунктів		±0,123	±0,123	±0,036		

Таблиця 3

**Параметри трансформації, визначені за координатами пунктів,
віднесених до різних осьових меридіанів L_0**

	m_{xy} роз- в'язку, м	C_1 , м	C_2 , м	Масшт. коефіц. $\mu \times 10^{-6}$	α , ° ' "	m_{xy} транс- форм., м
$L_0 = 15^\circ$						
18° - 24°	0,057	-95,607	-145,174	7,294	175°51'32,4"	0,182
10 пунктів		±0,275	±0,275	±0,079		
$L_0 = 21^\circ$						
18° - 24°	0,044	-93,487	-140,465	5,622	180°13'15,4"	0,141
10 пунктів		±0,213	±0,213	±0,062		
$L_0 = 27^\circ$						
18° - 24°	0,033	-91,679	-135,379	3,916	184°46'23,4"	0,106
10 пунктів		±0,158	±0,158	±0,045		
$L_0 = 33^\circ$						
18° - 24°	0,025	-90,409	-129,890	2,168	190°02'42,8"	0,090
10 пунктів		±0,124	±0,124	±0,035		
$L_0 = 39^\circ$						
18° - 24°	0,029	-89,957	-124,030	0,369	206°40'10,1"	0,111
10 пунктів		±0,146	±0,146	±0,039		

Аналізуючи результати табл. 3, приходимо до висновку, що використовувати параметри трансформації, обчислені за координатами пунктів, які віднесені до одного осьового меридіану, для перетворення плоских координат пунктів, віднесених до іншого осьового меридіану, не можна, навіть, якщо пункт знаходиться в середині території, обмеженої пунктами, за якими визначені параметри. Але такий висновок на основі зміни параметрів трансформації не характеризує величини похибки перетворення координат пунктів. Тому здійснимо переобчислення координат пунктів з геоцентричної системи в локальну (в зоні $L_0=21^\circ$), використовуючи параметри трансформації, визначені за координатами пунктів, які обчислені відносно осьового меридіану сусідньої зони ($L_0=27^\circ$). Істинні похибки перетворення координат у цьому випадку (для всіх 28 пунктів) мають такі значення:

- по осі x – від 9.02 м до 10.98 м;
- по осі y – від 2.17 м до 5.24 м.

Розподіл похибок по координатах x та y наведені на рис. 1 та рис. 2 відповідно.

Як бачимо з цих рисунків, зростання похибок відбувається в напрямку відповідної осі координат, але під деяким кутом до цієї координатної лінії, що пояснюється відповідним розміщенням пунктів.

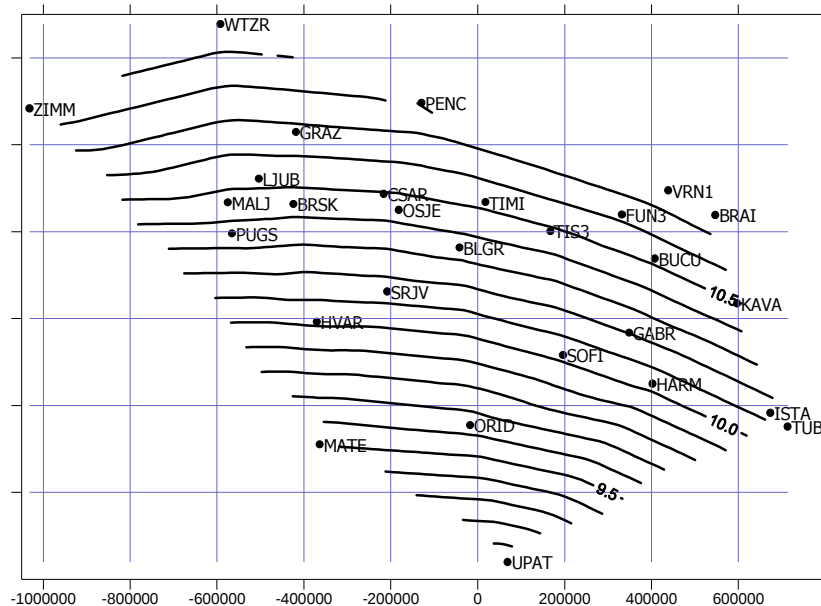


Рис. 1. Розподіл похибок перетворення координат по осі x за параметрами сусідньої зони

Може виникнути запитання, чому координати пунктів обчислювались не тільки відносно осьових меридіанів 15° , 21° , 27° , тобто зон, де знаходяться ці пункти, а також для осьових меридіанів 33° і 39° ? Відповідь, виявиться логічною, якщо переглянути результати табл. 4. Тут точність визначення параметрів трансформації, так само, як і точність перетворення усіх 28-ми пунктів покращується до $L_0=33^\circ$, а тоді знову погіршується. Тобто точність трансформації координат можна покращити тільки за рахунок вибору довготи осьового меридіану, відносно якого будуть обчислені плоскі координати пунктів. На рис. 3 зображені графіки зміни середніх квадратичних похибок трансформації координат пунктів, побудовані за даними табл. 4.

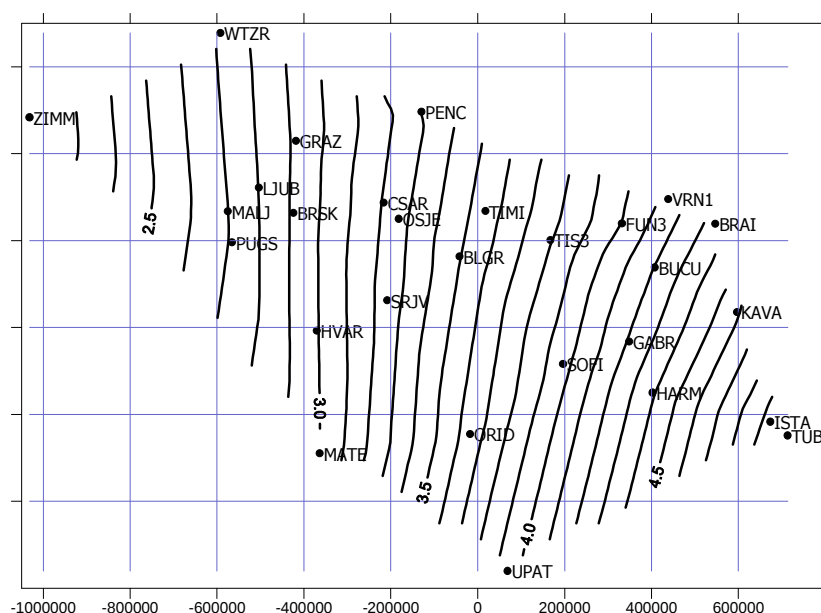


Рис. 2. Розподіл похибок перетворення координат по осі y за параметрами сусідньої зони

Таблиця 4

Середні квадратичні похибки визначення параметрів трансформації за координатами пунктів, що входять до певної зони, та точності перетворення координат усіх пунктів

L_0	Середні квадратичні похибки, м									
	24°-30°(28п-ів)		6°-18°(9п-ктів)		12°-18°(8п-тів)		18°-24°(10п-ів)		24°-30°(9пункт)	
	Розв'язку	Перетворення	Розв'язку	Перетворення	Розв'язку	Перетворення	Розв'язку	Перетворення	Розв'язку	Перетворення
15°	0,133	0,144	0,063	0,326	0,046	0,277	0,057	0,182	0,024	0,339
21°	0,102	0,110	0,049	0,247	0,036	0,210	0,044	0,141	0,018	0,260
27°	0,076	0,082	0,041	0,182	0,029	0,153	0,033	0,106	0,013	0,191
33°	0,067	0,071	0,046	0,166	0,029	0,127	0,025	0,090	0,010	0,149
39°	0,090	0,094	0,070	0,229	0,040	0,162	0,029	0,111	0,011	0,180

Зазначимо, що на рис. 3 суцільними лініями (0, 1, 2, 3 і 4) показано зміну середньої квадратичної похибки визначення параметрів в залежності від довготи осьового меридіану, до якого відносяться координати пунктів, за якими визначені параметри трансформації, а пунктирними лініями з відповідними номерами зміна середньої квадратичної похибки перетворення 28 пунктів за цими параметрами. При чому зроблені наступні позначення: 0 – похибки визначення параметрів трансформації за 28-ма пунктами (суцільна лінія) та похибки перетворення координат за визначеними параметрами (пунктирна лінія), 1 – похибки визначення параметрів за координатами пунктів, що входять в об'єднану зону 6°-18° та похибки перетворення координат 28-ми пунктів, 2 – похибки визначення параметрів за координатами пунктів, що входять в зону 12°-18° та похибки перетворення координат 28-ми пунктів, 3 – похибки визначення параметрів за координатами пунктів, що входять в зону 18°-24° та похибки перетворення координат 28-ми пунктів і 4 – похибки визначення параметрів за координатами пунктів, що входять в зону 24°-30° та похибки перетворення координат 28-ми пунктів.

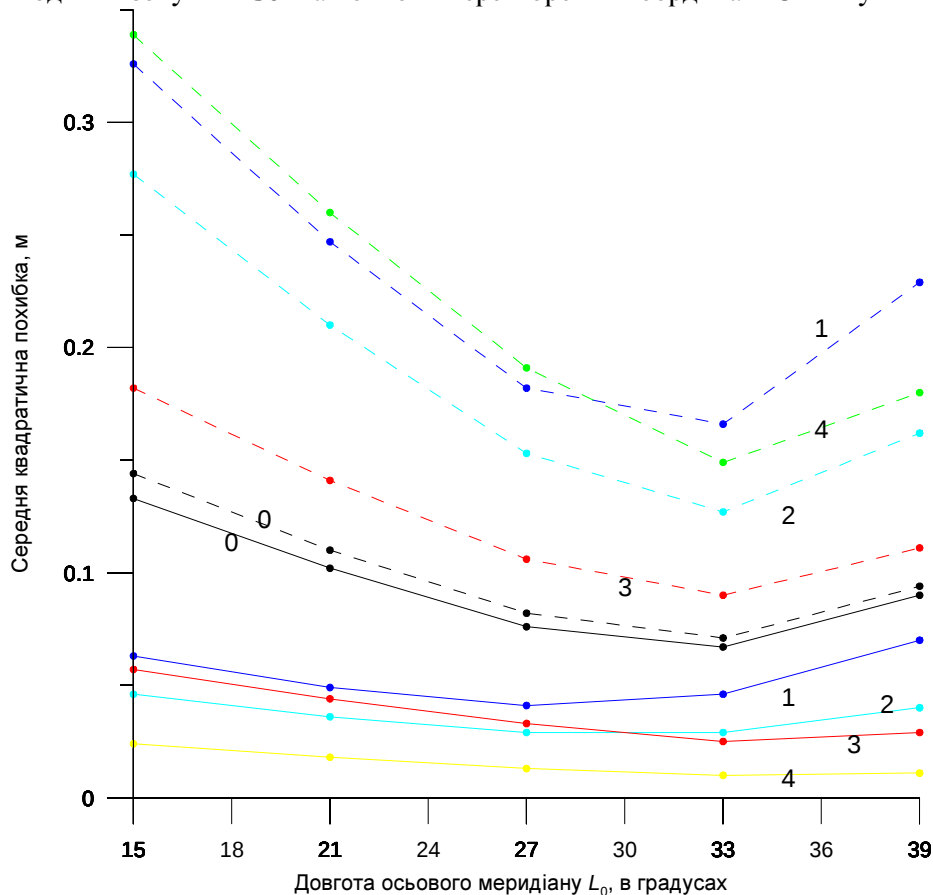


Рис. 3. Зміни середніх квадратичних похибок трансформації координат в залежності від зони, в якій обчислені координати вихідних пунктів

На основі табл. 4 і рис. 3 робимо висновок, що найкраща точність перетворення координат за параметрами, визначеними за всіма 28-ми пунктами, що є очікуваною, але, крім того, також добра (менше 20 см) точність перетворення координат отримана за параметрами, визначеними за координатами пунктів, що входять у зону 18° - 24° . При цьому можемо зазначити, що для всіх кривих на рис. 3, крім кривої 1, мінімум функції знаходиться у точці $L_0=33^{\circ}$. Цей дивний факт можна пояснити зміною кута між відповідними осьовими меридіанами зон на еліпсоїдах Красовського і GRS-80, тобто зменшується похибка перетворення координат з наближенням до точки перетину осей, а після – починає зростати.

Розміри поверхні Землі для застосування параметрів трансформації при двовимірних координатах. При виконанні досліджень для даної роботи було замічено, що параметри двовимірних перетворень залежать не тільки від довготи осьового меридіану, але й від площі поверхні Землі, на якій їх можна застосовувати, для досягнення заданої точності перетворень координат. Для з'ясування розмірів такої території, було виконано багато визначень параметрів трансформації у різних комбінаціях пунктів з оцінкою похибок перетворення координат. Частина з отриманих результатів наведені у табл. 5, а розподіл похибок перетворень координат пунктів (x і y) для характерних варіантів визначень параметрів продемонструємо нижче на рисунках з поясненнями мети такого визначення.

Таблиця 5

Характеристики точності визначення параметрів трансформації за різною комбінацією пунктів та точності перетворення координат 28 пунктів

Число п-тів	Назва пунктів за координатами, яких визначені параметри трансформації		
m визнач. парам., м	m тр-мації 28 пунктів, м	Максим. похибка трансформації пункту в координаті x , м	Максим. похибка трансформації пункту в координаті y , м
28	Усі пункти		
0.102	0.110	-0.276(UPAT, ZIMM)	0.270(ZIMM)
13	ZIMM, WTZR, LJUB, GRAZ, MATE, PENC, ORID, TIMI, UPAT, BUCU, VRN1, BRAI, TUBI		
0.138	0.115	-0.274 (UPAT)	0.228(ZIMM)
7	ZIMM, WTZR, MATE, PENC, UPAT, VRN1, TUBI		
0.186	0.136	-0.250 (UPAT)	0.197(ZIMM)
6	LJUB, GRAZ, ORID, TIMI, BUCU, VRN1		
0.065	0.110	-0.303(ZIMM, UPAT)	0.271(TUBI)
4	ZIMM, MATE, PENC, TUBI		
0.226	0.156	-0.305(UPAT)	-0.213(VRN1, MATE)
4	HVAR, ORID, TIMI, KAVA		
0.066	0.130	0.371(ZIMM)	0.493(ZIMM, WTZR)
4	PUGS, ORID, TIMI, KAVA		
0.094	0.113	0.280(ZIMM)	0.359(ZIMM)
4	PUGS, PENC, UPAT, KAVA		
0.140	0.123	0.303(ZIMM)	0.401(ZIMM, WTZR)
4	PUGS, TIMI, UPAT, BRAI		
0.137	0.122	0.294(ZIMM)	0.447(ZIMM, WTZR)
4	PUGS, TIMI, UPAT, KAVA		
0.132	0.127	0.272(ZIMM)	0.456(ZIMM, WTZR)
4	BLGR, TIMI, TIS3, SOFI		
0.011	0.120	0.384(ZIMM)	0.378(ZIMM)
3	BLGR, TIMI, TIS3		
0.003	0.119	0.406(ZIMM)	0.258(ZIMM, TUBI)

продовження табл. 5

Число п-тів	Назва пунктів за координатами, яких визначені параметри трансформації		
m визнач. парам., м	m тр-мації 28 пунктів, м	Максим. похибка трансформації пункту в координаті x , м	Максим. похибка трансформації пункту в координаті y , м
3	ZIMM, MATE, PENC		
0.142	0.226	0.560(TUBI)	0.492(TUBI)
3	MATE, PENC, TUBI		
0.174	0.136	0.376(ZIMM)	0.507(ZIMM)
3	HVAR, ORID, TIMI		
0.036	0.131	0.301(TUBI)	0.398(ZIMM)
3	HVAR, TIMI, BUCU		
0.043	0.117	0.310(ZIMM)	0.377(ZIMM)
3	SOFI, GABR, HARM		
0.008	0.215	0.592(ZIMM)	0.792(ZIMM)

За еталонний варіант визначення параметрів трансформації, з яким порівнюватимемо відповідні параметри, отримані з різних комбінацій пунктів, приймемо параметри, отримані за всіма 28-ма пунктами. На рис. 4 і 5 наведено розподіл похибок перетворення координат 28-ми пунктів по осях x і y за параметрами трансформації, визначеними за координатами усіх 28-ми пунктів. Тобто наведено приклад „ідеального” перетворення координат 28-ми пунктів з використанням одних параметрів.

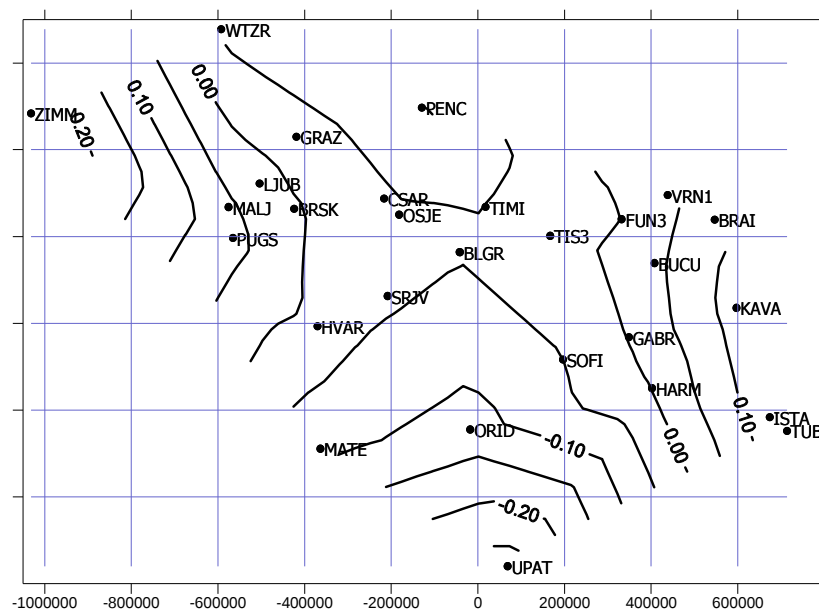


Рис. 4. Похибки трансформації координати x за параметрами, визначеними за 28-и пунктами

Як правило, параметри перетворення координат визначають за мінімальним числом пунктів, тобто 3 – 4, а у такому випадку отримати високу (краще 10 см) точність перетворення координат для геодезичної мережі, що займає велику територію, у кілька зон, неможливо. Це можемо стверджувати за результатами досліджень, здійснених в даній роботі. Зауважимо, що цей висновок має місце для перетворень плоских координат пунктів.

Дослідимо, з якою точністю можна виконати перетворення усіх пунктів цієї мережі за параметрами трансформації, визначеними за якомога меншим числом пунктів. Спочатку візьмемо такий варіант: нехай вихідними будуть крайні пункти мережі – ті, що її оточують. Виберемо 7 пунктів, а саме: ZIMM, WTZR, PENC, VRN1, TUBI, UPAT, MATE. За визначеними параметрами

на основі координат цих 7-ми пунктів перетворимо координати 28 пунктів та обчислимо їх похибки по кожній з координат x і y . Розподіл похибок перетворення координат наведемо на рис. 6 і рис. 7.

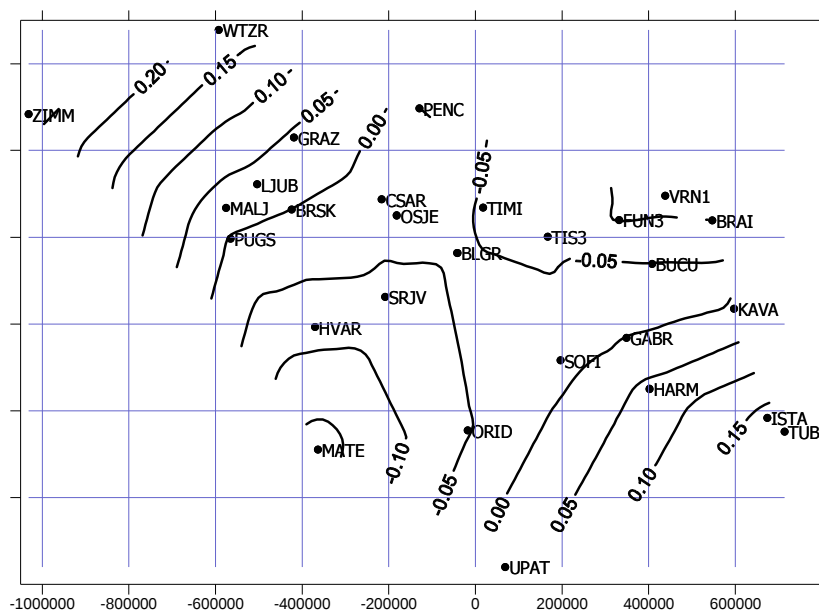


Рис. 5. Похибки трансформації координати y за параметрами, визначеними за 28-и пунктами

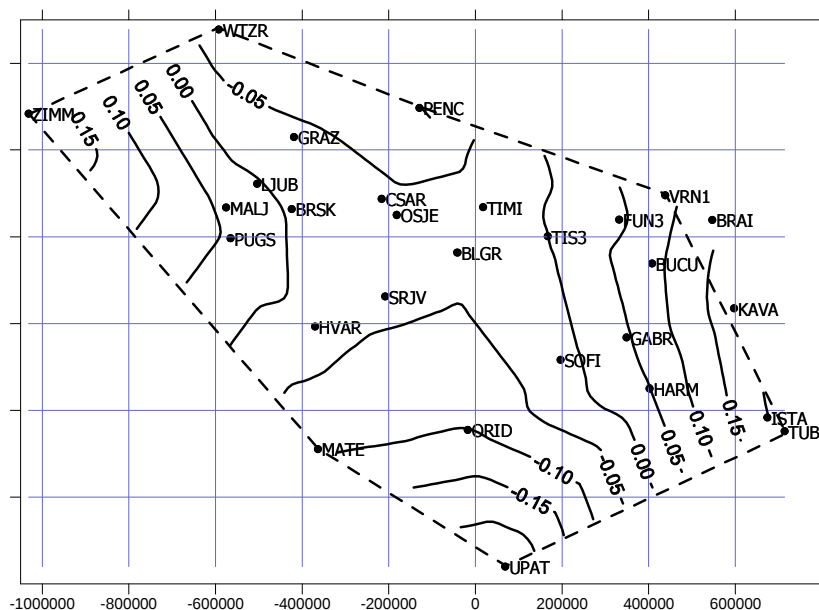


Рис. 6. Похибки трансформації координати x за параметрами, визначеними за 7-ми пунктами

Проаналізуємо отримані результати – порівняємо похибки перетворення в координатах x на рис. 4 і рис. 6, та в y на рис. 5 і рис. 7. Розподіл похибок подібний для цих двох варіантів по обох осях, хоча для крайніх пунктів мережі, таких як ZIMM, UPAT, ISTA, TUBI менші похибки перетворення координат y в варіанті 7-ми пунктів. Це пояснюється тим, що у розв'язку 7-ми пунктів, вони мають більшу вагу при визначенні параметрів трансформації. Таким чином, варіант визначення параметрів трансформації за 7-ми пунктами є кращим, бо дещо збільшує територію перетворення координат з меншими похибками. Площа, на якій можна отримати перетворені координати з похибками до 10 см по осях x і y , простягається відповідно до 800 і 1000 км. На наш погляд це можна пояснити кривиною Землі – екваторіальний радіус є більший, ніж полярний.

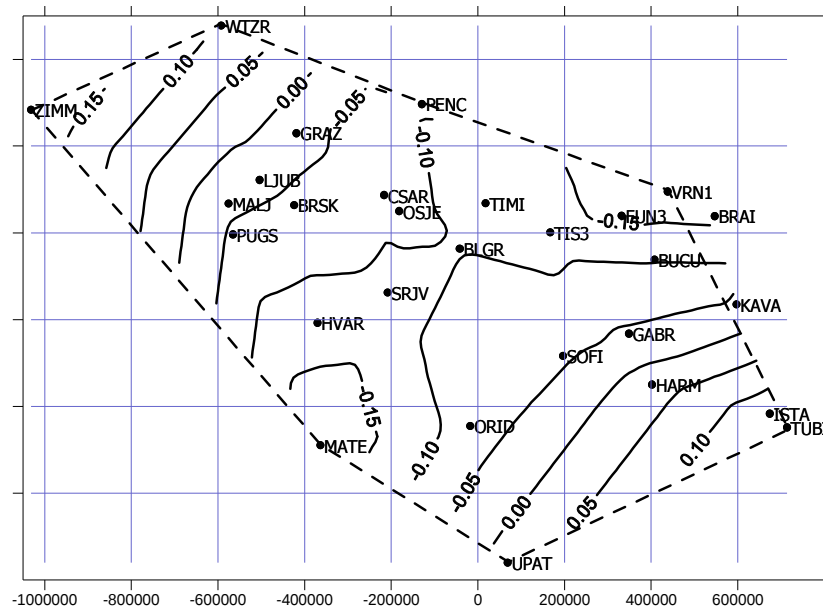


Рис. 7. Похибки трансформації координати y за параметрами, визначеними за 7-ми пунктами

З досліджень встановлено, що для деякої території, наприклад, картографічної зони (тільки по довготі), можна отримати задовільний розв'язок для параметрів трансформації, якщо 4 пункти будуть утворювати дві лінії, які перетинаються під кутом близьким до прямого. Для визначення параметрів трансформації, які б задовольняли територію даної геодезичної мережі протяжністю у 4 зони вибрано 3 такі фігури, утворені 13-ма пунктами табл. 5. Розподіл похибок трансформації координат подібний до попередніх двох випадків. Таким чином, для визначення параметрів трансформації координат, які б давали задовільну точність їх перетворення, можна визначити за невеликим числом підібраних пунктів i , у той же час, не вдається покращити точність перетворення координат крайніх пунктів (у „кутах”) мережі, для прикладу ZIMM, UPAT, ISTA, TUBI.

Зменшимо число пунктів до мінімуму (до 3 – 4-ох) для визначення параметрів трансформації для всієї мережі. За такі пункти приймемо ZIMM, PENC, TUBI, MATE. Розподіл похибок перетворення координат пунктів всієї мережі за параметрами трансформації, отриманими за вказаними 4-ма пунктами, наводимо на рис. 8 та рис. 9.

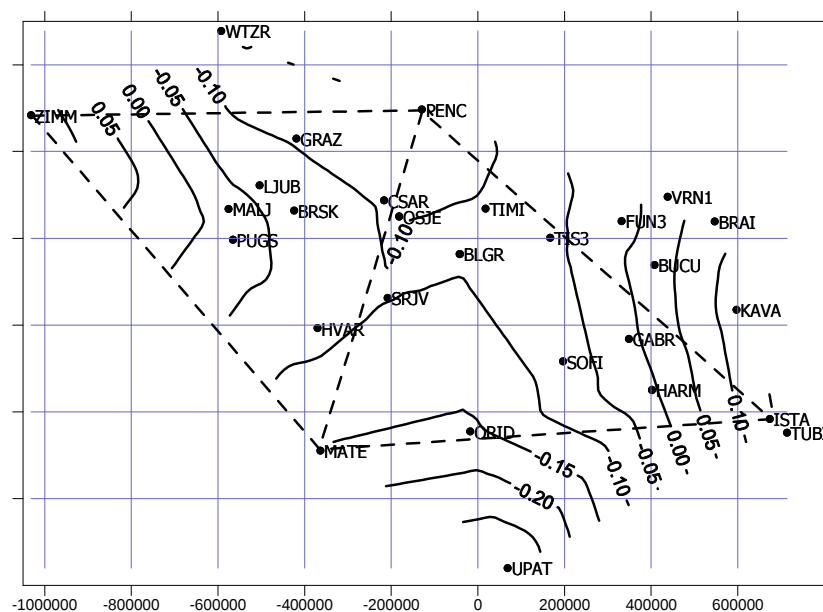


Рис. 8. Похибки трансформації координати x за параметрами, визначеними за 4-ма пунктами

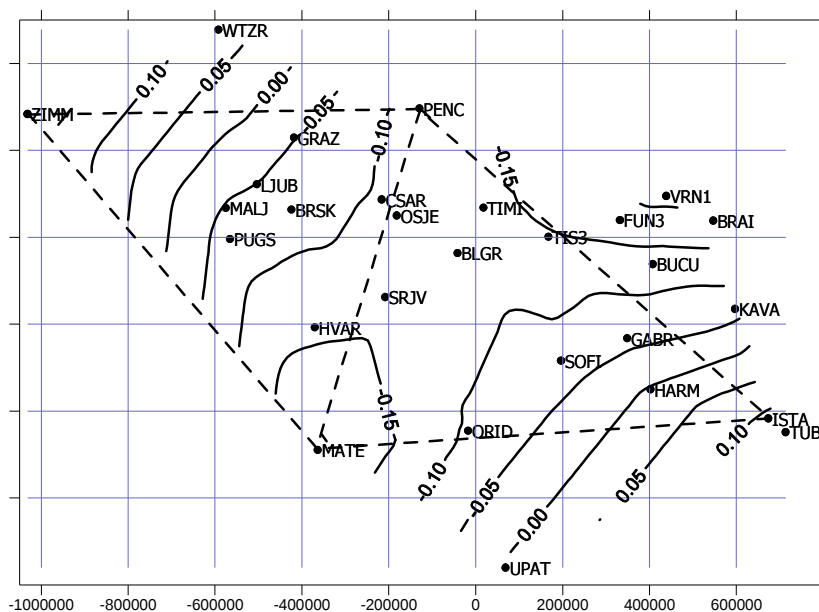


Рис. 9. Похибки трансформації координати у за параметрами, визначеними за 4-ма пунктами

Цей варіант цікавий тим, що за мінімальним числом пунктів визначаються параметри трансформації для великої території, і в двох її областях – на захід і на схід від середини похибки перетворення координат менше 10 см, але, разом з цим, у центрі, північній і південній частинах ці похибки – більше 10 см. При цьому пункти утворюють два, близькі до рівносторонніх, трикутники. З досліджень відомо, що параметри трансформації, визначені за координатами пунктів, що утворюють рівносторонній трикутник, дають високу точність перетворення координат. Якщо ж визначити параметри трансформації з кожного з цих трикутників окремо, то для відповідної території отримаємо похибки перетворення координат що не перевищують 10 см. Таким чином, визначити одні параметри трансформації для території всієї мережі, які забезпечують перетворення координат з похибками до 10 см, неможливо через її велику протяжність із Заходу на Схід, тобто через кривину поверхні Землі.

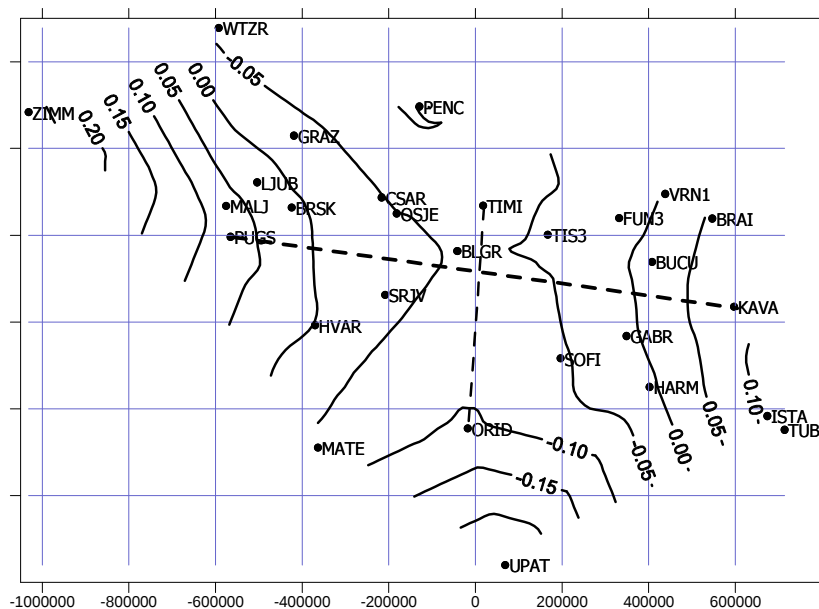


Рис.10. Похибки трансформації координати х за параметрами, визначеними за 4-ма пунктами, що утворюють перпендикулярні прямі

Наступний варіант складається теж з 4-ох пунктів, але вони утворюють дві лінії, що перетинаються майже під прямим кутом. Тут розподіл похибок перетворення координат пунктів

(рис. 10 і рис. 11) суттєво покращився. Зазначимо, що розподіл похибок перетворення координат пунктів по осях x і y можуть дуже відрізнятися для одних параметрів трансформації, наприклад для певного пункту похибка в одній з координат може дорівнювати 5 см, а в іншій – досягати до 30 чи 50 см.

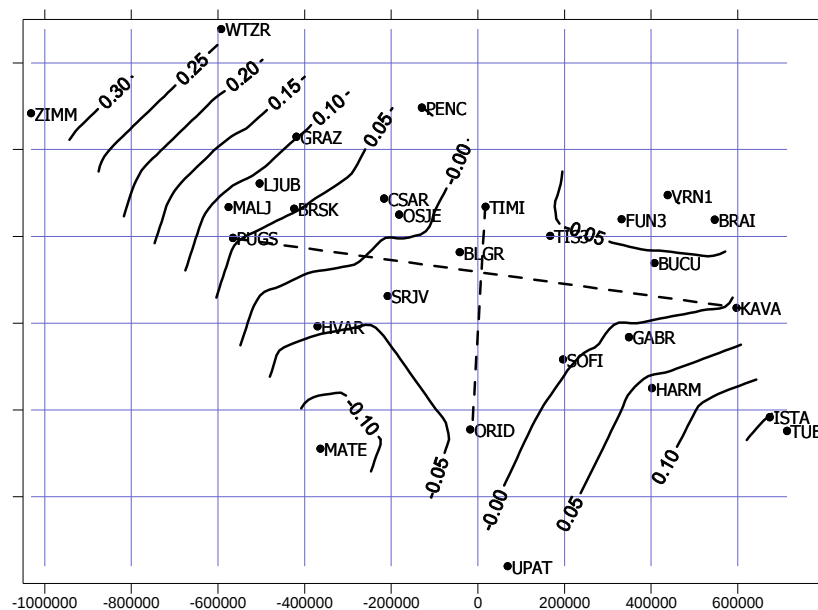


Рис.11. Похибки трансформації координати у за параметрами, визначеними за 4-ма пунктами, що утворюють перпендикулярні прямі

Висновки. 1. Застосовувати параметри трансформації, визначені за координатами пунктів, які віднесені до одного осьового меридіану, для перетворення плоских координат пунктів, віднесених до іншого осьового меридіану, не можна.

2. Точність трансформації координат можна покращити за рахунок вибору довготи осьового меридіану, відносно якого будуть обчислені плоскі координати пунктів.

3. Параметри двовимірних перетворень залежать не тільки від довготи осьового меридіану, але й від розмірів поверхні Землі, на якій їх можна застосовувати, для досягнення заданої точності перетворень координат.

4. Розміри поверхні Землі, на якій можна отримати перетворені координати з похибками до 10 см по осях x і y , простягається відповідно до 800 і 1000 км, що пояснюється фігурою Землі.

5. Параметри трансформації при перетвореннях координат можуть давати різну похибку в координату x і y , що залежить від розподілу похибок перетворення у кожній з цих координат.

1. Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтенеггер, Д. Коллінз. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): Теорія і практика.- Пер. з англ. під ред. Я.С. Яцківа.- Київ: Наук. думка, 1995.- 380 с.
2. Стаття з даними геодезичної мережі перманентних пунктів Європи. (в С.Г.Савчука)
3. Цюпак І.М., Дульцев А.Т., Третьак К.Р., Савчук С.Г. Точність перетворення просторових координат пунктів//Сучасні досягнення геодезії, геодинаміки та геодезичного виробництва.- Львів, 2000.- С. 45-50.
4. Цюпак І.М., Бойчук Я.Д., Джаман В.С. Визначення параметрів зв'язку між Державною та місцевою системами координат за допомогою GPS вимірів //Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технологій (Збірник матеріалів XI науково-технічного симпозиуму.- Алушта, 7-12 вересня 2006 р.).- Львів, 2006.- С. 36 – 39.