

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра

на тему:

**Реалізація методу трансформування координат з архівної системи
(Вараш-42) у діючу (МСК-56) у середовищі QGIS**

Виконав: студент IV курсу, групи ГІСТ-20
за напрямком підготовки

19 «Архітектура і будівництво»

193 «Геодезія та землеустрій»

Ротачов Н. Ю.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник:

Кінь Д. О., асистент

(прізвище та ініціали, науковий статус, посада)

Рецензент: Карпінський Ю.О., д.т.н., проф.

(прізвище та ініціали)

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: геоінформатики і фотограмметрії

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Напрямок підготовки 193 “Геодезія та землеустрій”

(шифр і назва)

Спеціальність 6.08010105 “Геоінформаційні системи і технології”

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри проф. Карпінський Ю.О.

(підпис)

«22» лютого 2024 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Ротачову Нікіті Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1.Тема проекту (роботи):

«Реалізація методу трансформування координат з архівної системи (Вараш-42) у діючу (МСК-56) у середовищі QGIS»

Керівник проекту (роботи): асистент Кінь Данило Олексійович,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “25” квітня 2024 року №712/2

2.Строк подання студентом проекту (роботи) 24.05.2024

3.Вихідні дані до проекту (роботи)

Каталог координат об'єктів у місцевій системі координат м. Вараш, похідній від СК-42;

Репозиторій датумів систем координат EPSG;

Трансформаційне поле у форматі NTv2, яке надав ДП «НДІГК».

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ПИТАННЯ ТРАНСФОРМУВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ
КООРДИНАТ З АРХІВНИХ У ДІЮЧІ СИСТЕМИ КООРДИНАТ

1.1. Обґрунтування необхідності трансформувати координати з архівних у діючі системи координат

- 1.2. Нормативно-правове регулювання щодо використання діючих та архівних систем координат
- 1.3. Аналіз останніх досліджень щодо питання трансформування та перетворення координат

Висновки до розділу 1

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТРАНСФОРМУВАННЯ КООРДИНАТ ЗА ДОПОМОГОЮ GRID МОДЕЛІ У ФОРМАТІ NTV2 З МСК (ВАРАШ-42) В МСК-56

- 2.1. Опис систем координат МСК (Вараш-42) та МСК-56
- 2.2. Опис методики
- 2.3. Опис вихідних даних

Висновки до розділу 2

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ ТРАНСФОРМУВАННЯ КООРДИНАТ ЗА ДОПОМОГОЮ GRID МОДЕЛІ У ФОРМАТІ NTV2 У СЕРЕДОВИЩІ QGIS

- 3.1. Додавання незареєстрованих систем координат в середовищі QGIS
- 3.2. Додавання трансформаційного поля в QGIS та виконання трансформації координат
- 3.3. Оцінка точності результатів трансформації

Висновки до розділу 3

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Схема розташування вихідних об'єктів дослідження

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Кінь Д.О.		
Розділ 2	Куриляк І. С., канд. техн. наук		
Розділ 3	Кінь Д.О.		

7. Дата видачі завдання: 20.02.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Проект завдання дипломної роботи	20.02.2024	
2	Вступ	22.02.2024	
3	Розділ 1. Питання трансформування та перетворення координат з архівних у діючі системи координат	19.03.2024	
4	Розділ 2. Методика трансформування координат за допомогою Grid моделі у форматі NTv2 з МСК (Вараш-42) в МСК-56	16.04.2024	
5	Розділ 3. Реалізація методики трансформування координат за допомогою Grid моделі у форматі NTv2 у середовищі QGIS	15.05.2024	
6	Висновки	17.05.2024	
7	Розробка графічного матеріалу	17.05.2024	
8	Подача проекту на попередній захист та рецензування	20.05.2024	

Студент: _____
(підпис)

Ротачов Н.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи): _____
(підпис)

Кінь Д. О.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТРАНСФОРМУВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТ З АРХІВНИХ У ДІЮЧІ СИСТЕМИ КООРДИНАТ	10
1.1 Обґрунтування необхідності трансформувати координати з архівних у діючі системи координат	11
1.2 Нормативно-правове регулювання щодо використання діючих та архівних систем координат	13
1.3 Аналіз останніх досліджень щодо питання трансформування та перетворення координат	18
Висновки до розділу 1	33
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТРАНСФОРМУВАННЯ КООРДИНАТ ЗА ДОПОМОГОЮ GRID МОДЕЛІ У ФОРМАТІ NTV2 З МСК (ВАРАШ-42) В МСК-56	34
2.1 Опис систем координат МСК (Вараш-42) та МСК-56	35
2.2 Опис методики	39
2.3 Опис вихідних даних.....	41
Висновки до розділу 2	46
РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ ТРАНСФОРМУВАННЯ КООРДИНАТ ЗА ДОПОМОГОЮ GRID МОДЕЛІ У ФОРМАТІ NTV2 У СЕРЕДОВИЩІ QGIS	47
3.1 Додавання незареєстрованих систем координат в середовищі QGIS	48
3.2 Додавання трансформаційного поля в QGIS та виконання трансформації координат.....	49
3.3 Оцінка точності результатів трансформації	68
Висновки до розділу 3	74
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ	81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Grid – регулярна сітка для трансформування координат точок, з поправками у вузлах сітки.

NTv2 – сітка для трансформування координат, представляє собою бінарний файл формату (.GSB). Побудована згідно вимог стандарту National Transformation Version 2.

TIN-модель (Triangulated Irregular Network) – векторна полігональна модель просторових даних, побудована у вигляді сітки трикутників, як правило, за методом триангуляції Делоне.

WKT – формат опису систем координат, «Well Known Text».

Геодезична мережа згущення (ГМЗ) – пункти геодезичних мереж 4 класу та 1, 2 розряду, що будуються для згущення Державної геодезичної мережі.

ГІС – геоінформаційна система.

Державна геодезична мережа (ДГМ) – мережа геодезичних пунктів, що забезпечує поширення координат на територію держави і є вихідною для створення інших геодезичних мереж.

ДП – державне підприємство.

МСК (Вараш-42) – місцева система координат м. Вараш, яка утворена від СК-42.

МСК-56 – місцева система координат Рівненської області – УСК-2000 (UA_UCS_2000/LCS_56).

НДІГК – науково-дослідний інститут геодезії і картографії.

НІГД – національна інфраструктура геопросторових даних.

Перетворення координат – перерахунок координатної інформації із однієї системи координат до іншої системи координат, які ґрунтуються на одних і тих же вихідних геодезичних даних (датумах). Наприклад, перерахунок із геодезичних координат в просторові декартові координати.

ПЗ – програмне забезпечення.

СК-42 – система координат 1942 року, референсна система координат СРСР.

СК-63 – система плоских прямокутних координат 1963 року в картографічній проекції Гаусса-Крюгера.

Трансформування координат – перерахунок координат між двома системи координат, які ґрунтуються на різних вихідних геодезичних даних (датумах).

УСК-2000 – державна геодезична референсна система координат 2000 року.

ВСТУП

Загальновідомим є факт того, що будь-яка професійна діяльність регулюється законом та забезпечується відповідним нормативно-правовим супроводом. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 року № 1259 «Деякі питання застосування геодезичної референцної системи координат» [4] стала першим правовим актом, який запустив впровадження, створення та перехід до Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000. З прийняттям вищезазначеного правового акту постало питання трансформування картографічних і землевпорядних матеріалів з архівних у діючі системи координат з максимальною точністю та мінімальним спотворенням. ДП «НДІГК» почало розробляти та поступово апробувати методику афінного трансформування, для якого використовується трансформаційне поле у форматі NTv2.

Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 10 листопада 2021 року №347 «Про затвердження технічних вимог до геопросторових даних, метаданих і геоінформаційних сервісів національної інфраструктури геопросторових даних» [9] ще раз підкреслив обов'язковість використання УСК-2000, вже з огляду на забезпечення сумісності геопросторових даних в геоінформаційних системах. Таким чином, усі держателі геопросторових даних були законодавчо зобов'язані переходити на використання УСК-2000 у своїй професійній діяльності.

З огляду на розвиток НІГД в Україні, супутніх нормативно-правових та нормативно-технічних актів у цій сфері діяльності, що розкривають та конкретизують використання УСК-2000 для подальшого розвитку інфраструктури просторових даних, тема реалізації методу трансформування координат з архівних систем у діючі є актуальною.

Мета роботи: реалізувати метод трансформування координат з архівної системи (Вараш-42) у діючу (МСК-56) у середовищі QGIS для забезпечення дотримання єдиних вимог щодо системи координат, в якій подаються координатні описи геопросторових об'єктів.

Основні завдання:

- 1) обґрунтувати необхідність трансформування координат з архівних у діючу систему координат;
- 2) проаналізувати нормативно-технічне і нормативно-правове забезпечення щодо використання системи координат УСК-2000;
- 3) описати методику трансформування координат за допомогою GRID моделі у форматі NTv2 з МСК (Вараш-42) в МСК-56;
- 4) реалізувати методику трансформування у середовищі геоінформаційної системи QGIS;
- 5) виконати оцінку точності отриманих результатів трансформування.

Об'єкт дослідження: державна референсна система координат УСК-2000.

Предмет дослідження: методика трансформування координат з архівної в діючу у геоінформаційному середовищі.

Результати дослідження були опубліковані у науково-технічному збірнику «Містобудування та територіальне планування», який належить до фахових видань України категорії «Б».

**РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТРАНСФОРМУВАННЯ ТА
ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТ З АРХІВНИХ У ДІЮЧІ СИСТЕМИ
КООРДИНАТ**

1.1 Обґрунтування необхідності трансформувати координати з архівних у діючі системи координат

До законодавчого впровадження УСК-2000 на теренах України діяли такі системи координат: СК-42, СК-63 та похідні від них місцеві системи координат. З відходом у небуття Радянського Союзу у спадок українським геодезістам, землевпорядникам та геоінформатикам лишився величезний масив топографо-геодезичних матеріалів, містобудівної та землевпорядної документації в архівних системах координат, які потребують трансформування.

Система координат 1942 року (СК-42) – референсна система координат СРСР, заснована на проекції Гаусса-Крюгера. Усі топографічні карти та плани на території республік колишнього СРСР розроблялися саме в цій системі координат аж до 1963 року, в якому була розроблена та впроваджена СК-63. Система координат 1963 року (СК-63) - референсна система координат СРСР, заснована на проекції Гаусса-Крюгера, яка, можна сказати, є похідною від СК-42. На перший погляд СК-42 та СК-63 практично не відрізняються, але деякі розбіжності є. Хоч СК-63 створена у картографічній проекції Гауса-Крюгера, на основі еліпсоїда Красовського 1940 року, як і СК-42, проте номенклатура базових карт масштабу 1:100000 побудована інакше.

Зокрема, кожний район СК-63 складається з масиву номенклатурних карт масштабу 1:100000 (найдрібніший масштаб в СК-63) і розбитий на зони, що мають ширину 3° або 6°. Назвам районів відповідають великі літери латинської абетки, за виключенням N, O, Z (рис. 1.1). Більшу частину території України охоплює район X, а також частково покривають райони C, P, T (рис. 1.2). В межах території України використовуються лише зони з шириною 3°. У СК-63 один аркуш карти 1:100000 відображає місцевість розміром 20' по широті і 30' по довготі. Номенклатура має вигляд X-43-60, де X – район, 43 – номер аркуша карти по вертикалі, що зростає з півдня на північ, 60 – номер аркуша карти по горизонталі, що збільшується з заходу на схід [10].

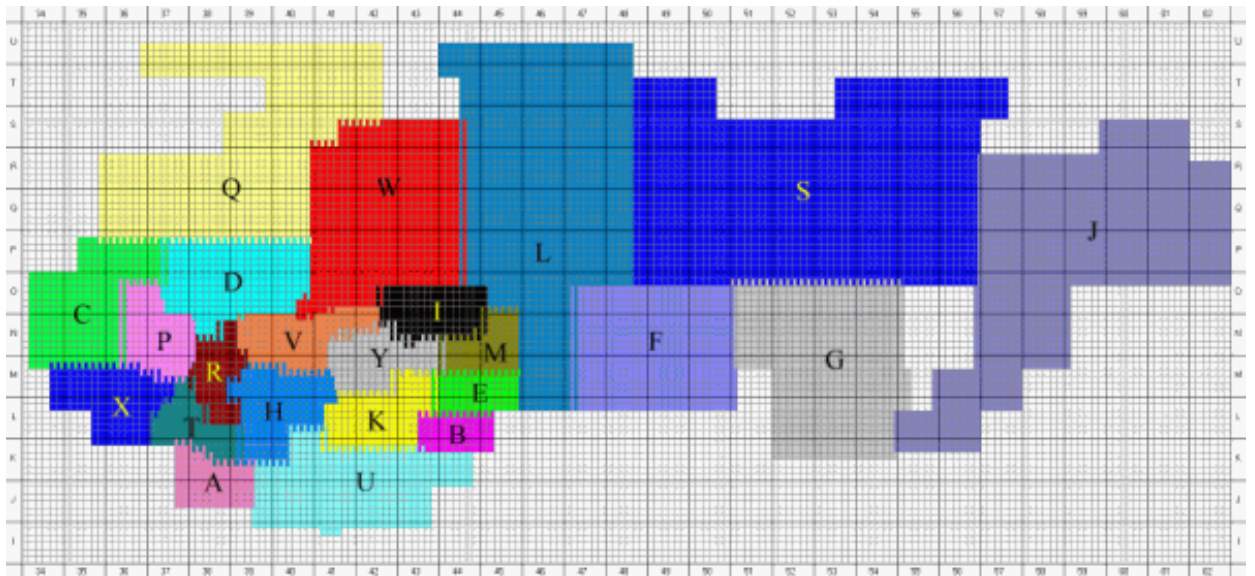


Рис. 1.1 Розташування районів СК-63 [10]

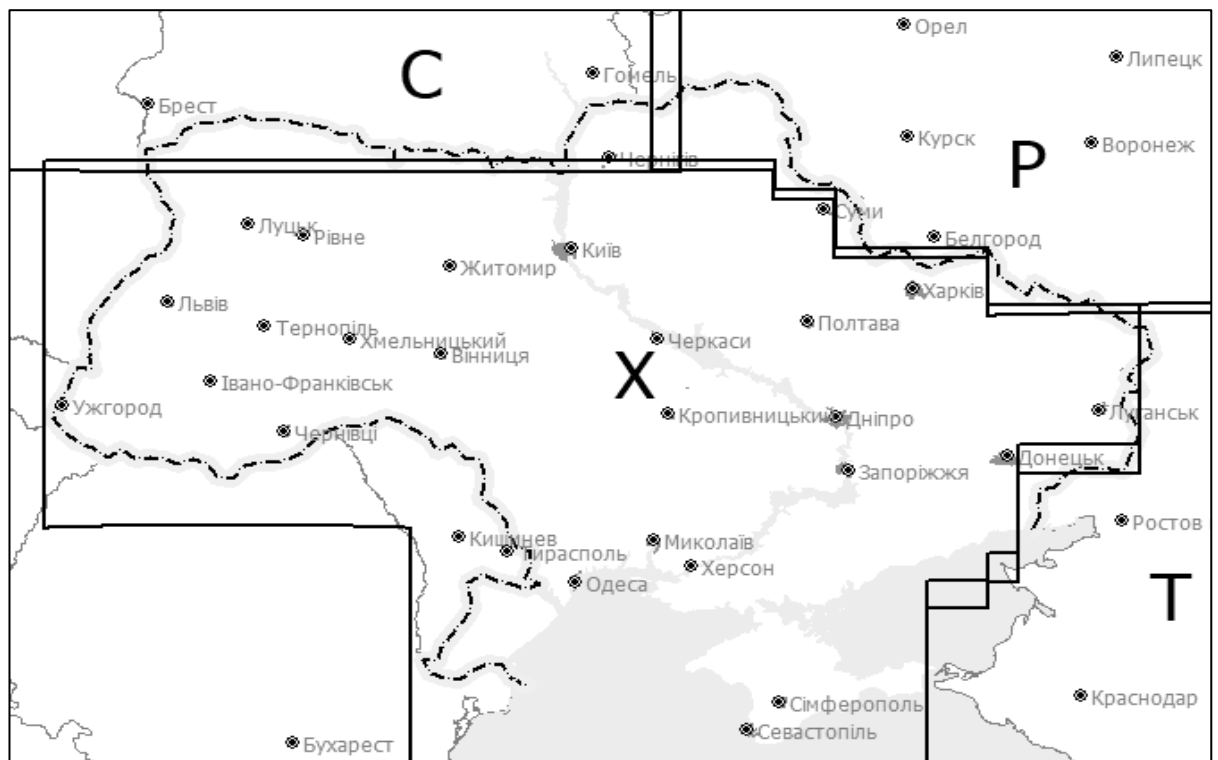


Рис. 1.2 Розміщення районів X, C, P, T на території України для СК-63 [10]

Згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 року № 1259 «Деякі питання застосування геодезичної референцної системи координат» [4], Державній службі з питань геодезії, картографії та кадастру було доручено вжити заходів до створення і впровадження починаючи з 1 січня 2007 р. Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000. Створення та впровадження УСК-2000 було необхідним – використання радянських систем координат не відповідало сучасному рівню розвитку технологій, тож подекуди координатні розбіжності вимірювалися в метрах. Більше того, діюча система координат відкрила нові можливості для міжнародної співпраці та сприяла інтеграції в Європу, оскільки прив'язана до міжнародної земної референцної системи координат ITRS. Саме відмінність у прив'язках до систем відліку між архівними системами координат та УСК-2000 впроваджує спотворення та унеможливорює прямий перехід між ними.

Тож для використання у геоінформаційних системах топографо-геодезичних матеріалів, містобудівної та землевпорядної документацій, створених в архівних системах координат, необхідне трансформування у діючу систему координат з максимальною точністю та мінімальними спотвореннями, які забезпечуються трансформаційними полями.

1.2 Нормативно-правове регулювання щодо використання діючих та архівних систем координат

Нормативно-правове регулювання щодо використання діючих та архівних систем координат являє собою наступний список актів:

- Закон України від 23 грудня 1998 року № 353-XIV «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [1];
- Постанова Кабінету Міністрів України від 22 липня 1999 року № 1344 «Положення про порядок надходження, зберігання, використання та обліку матеріалів Державного картографо-геодезичного фонду України» [3];

– Постанова Кабінету Міністрів України № 1259 від 22 вересня 2004 року «Деякі питання застосування геодезичної системи координат» [4];

– Постанова Кабінету Міністрів України від 07 серпня 2013 року № 646 «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [5];

– Постанова Кабінету Міністрів України від 04 вересня 2013 року № 661 «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» [6];

– Наказ Мінагрополітики, № 509 від 02.12.2016 року «Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референтної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою» [8];

– Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» [2];

– Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532 «Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних» [7].

1. У законі України від 23 грудня 1998 року № 353-XIV «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» зазначається, що виконання топографічних, картографічних, кадастрових зйомок та оновлення карт і планів, зйомок континентального шельфу та водних об'єктів проводиться в єдиній системі координат і висот [1].

2. У постанові Кабінету Міністрів України від 22 липня 1999 року № 1344 «Положення про порядок надходження, зберігання, використання та обліку матеріалів Державного картографо-геодезичного фонду України» в Додатку 1 «Перелік матеріалів, які підлягають передачі Державному картографо-геодезичному фонду України з установленим терміном зберігання» викладено наступні матеріали, які мають бути в УСК-2000 [3]:

1) Каталоги координат і висот геодезичних пунктів 1-4 класів у Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000 при виконанні геодезичних робіт з побудови Державної геодезичної мережі;

2) Каталоги координат і висот у Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000 із схемою при виконанні робіт з побудови геодезичних мереж згущення;

3) Технічні звіти про виконані роботи у Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000 при виконанні робіт з побудови геодезичних мереж згущення.

3. Постанова Кабінету Міністрів України № 1259 від 22 вересня 2004 року «Деякі питання застосування геодезичної системи координат» установлює, що [4]:

1) Виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт починаючи з 1 січня 2007 р. здійснюватиметься із застосуванням Державної геодезичної референційної системи координат УСК-2000;

2) Державній службі з питань геодезії, картографії та кадастру вжити заходів до створення і впровадження починаючи з 1 січня 2007 р. Державної геодезичної референційної системи координат УСК-2000.

4. У постанові Кабінету Міністрів України від 07 серпня 2013 року № 646 «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»» зазначено наступні положення [5]:

1) Геодезична (планова) мережа забезпечує поширення на території країни Державної геодезичної референційної системи координат УСК-2000, яка застосовується як єдина система координат;

2) Координати і висоти пунктів геодезичних мереж згущення та геодезичних мереж спеціального призначення можуть обчислюватись у місцевих системах координат і висот, однозначно зв'язаних із системою координат

УСК-2000 та Балтійською системою висот 1977 року, з 1 січня 2026 р. - з Європейською вертикальною референчною системою (EVRS).

5. Постанова Кабінету Міністрів України від 04 вересня 2013 року № 661 «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» визначає, що [6]:

1) державні топографічні карти створюються в Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000 та Балтійській системі висот 1977 року, з 1 січня 2026 р. - у Європейській вертикальній референційній системі (EVRS);

2) у плановому положенні - пункти геодезичної (планової) і нівелірної (висотної) мереж, геодезичних мереж згущення і точки знімальної мережі, плоскі координати яких обчислені в проекції Гаусса-Крюгера у шестиградусних зонах у Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000.

6. Наказ Мінагрополітики, № 509 від 02.12.2016 року «Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референтної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою» визначає механізм використання Державної геодезичної референційної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою та є обов'язковим для використання розробниками документації із землеустрою. Згідно цього наказу [8]:

1) Використання Державної геодезичної референційної системи координат УСК-2000 проводиться з дотриманням таких принципів:

– використання міжнародного досвіду впровадження геодезичних референційних систем координат;

– застосування строгих математичних методів забезпечення координатних операцій перетворення та трансформування координат від малоточних систем координат до високоточних;

– врахування адміністративно-територіального устрою України;

– використання існуючої нормативно-технічної та програмно-методичної інфраструктури ведення Державного земельного кадастру.

2) Координатною основою при здійсненні робіт із землеустрою є Державна геодезична референцна система координат УСК-2000. Система координат УСК-2000 встановлюється за умови паралельності її осей просторовим осям системи ITRS. За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 приймається референц-еліпсоїд Красовського. Система координат УСК-2000 має однозначний геодезичний зв'язок із системою ITRS/ITRF2000. Система координат УСК-2000 на місцевості закріплена пунктами ДГМ.

3) Координати пунктів ДГМ, ГМЗ та поворотних точок меж геопросторових об'єктів визначаються:

– геодезичними (еліпсоїдальними) координатами - широта (В), довгота (L), висота (Н);

– прямокутними координатами (x, y) в проекції Гаусса - Крюгера в системі координат УСК-2000 або місцевих системах координат, що однозначно зв'язані із системою координат УСК-2000.

4) Роботи із землеустрою виконуються в системі координат УСК-2000 або місцевих системах координат, однозначно зв'язаних із системою координат УСК-2000.

5) Картографічні матеріали та документація із землеустрою, які створені в системах координат СК-42, СК-63 та місцевих системах координат, утворених від них, переводяться в систему координат УСК-2000 або місцеву систему координат, однозначно зв'язану із системою координат УСК-2000.

6) Обробка матеріалів зйомок при виконанні робіт із землеустрою здійснюється в системі координат УСК-2000 або в місцевій системі координат, однозначно зв'язаній із системою координат УСК-2000.

7. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» визначає Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000 як один з наборів (видів) геопросторових даних [2].

8. У постанові Кабінету Міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532 «Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних» зазначається, що геопросторові дані національної інфраструктури геопросторових даних виробляються, оновлюються, обробляються, зберігаються та постачаються в Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000 та Балтійській системі висот 1977 року, з 1 січня 2026 р. – у Європейській вертикальній референційній системі (EVRS) [7].

1.3 Аналіз останніх досліджень щодо питання трансформування та перетворення координат

Першість у питанні вивчення трансформування та перетворення координат в Україні належить Науково-дослідному інституту геодезії і картографії. Саме наукові співробітники вищезгаданого державного підприємства є авторами серії публікацій, направлених на обґрунтування та дослідження методики трансформування. У роботах проаналізовано основні методи трансформування, розглянуто доцільність їх використання для різних завдань (топографо-геодезичній, картографічній, землевпорядній та містобудівній діяльності) [11 - 27].

У статті [11] у постановці проблеми автори вказали на розрив між класичними та супутниковими технологіями, який необхідно перекрити.

Розвиток супутникових технологій позиціонування дозволив суттєво спростити 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. 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. 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. Останнє й призвело до широкого використання методів, в основі яких лежить метод трансформаційного поля. У цьому дослідженні використовувалося трансформаційне поле у вигляді TIN-моделі [11].

Для побудови трансформаційного поля авторами було прийнято таку схему оброблення даних [11]:

- 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 Делоне;
- створення трансформаційного поля по методу скінченних елементів;
- побудова моделі трансформаційного поля для використання в програмно-методичному комплексі;
- оцінка отриманого трансформаційного поля за контрольними пунктам.

При оцінці отриманого трансформаційного поля було визначено, що середні квадратичні похибки по осі абсцис і ординат становлять усього 0,032 м та 0,028 м відповідно. Кількість контрольних пунктів, за даними яких було проведено оцінку, складає 808 штук. Отже, перевага використання трансформаційного поля очевидна: точність вимірювання складає кілька сантиметрів, на відміну від кількох дециметрів. Афіне трансформування методом скінченних елементів локалізує спотворення геодезичних мереж, заданих менш точними пунктами, при переході до систем координат, заданої

більш точними координатами, завдяки чому забезпечує вищу точність, порівняно з іншими методами [11].

У роботах [12, 13], на відміну від попередньої, представлено та розібрано ширший спектр методів трансформування координат. Розглянуто основні вимоги щодо трансформування та фактори, які впливають на його якість. Більш детально досліджено трансформування координат за методом скінченних елементів: розписано створення трансформаційного поля у вигляді TIN- та GRID-моделі [12, 13].

Параметри трансформування координат із системи в систему визначають за суміщеними точками, координати яких визначені в обох системах координат [12, 13].

Автори зазначають, що якість трансформування координат залежить від наступних факторів [12, 13]:

- щільність суміщених точок;
- точність визначення координат точок;
- просторове розміщення точок;
- метод трансформування.

Характерною ознакою трансформування, відміченою в попередньому дослідженні, є те, що точність визначення координат суміщених точок у різних системах координат може значно відрізнятись [12, 13].

З урахуванням різної точності визначення координат точок в різних системах координат можна висунути такі вимоги до трансформування координат [12, 13]:

- негомогенність трансформування полягає в тому, що добирають такі параметри трансформування, в яких коефіцієнти зміни масштабу по кожній осі координат є різними, що визначає неоднорідність систем координат. При цьому в результаті перетворення перерахованим координатам опорних точок вхідної системи точно встановлюються значення координат точок вихідної системи;

– неперервність (континуальність) трансформування полягає в тому, що точка, яка лежить на межі областей в одній системі координат, трансформується в точку, яка так само лежатиме на межі тих самих областей, причому її положення буде однаковим у використанні параметрів трансформування тієї чи іншої області;

– незалежність локального трансформування забезпечує послідовне локальне уточнення параметрів трансформування в областях, де щільність суміщених точок зростає, при цьому параметри трансформування в інших областях залишаються незмінними.

У публікації представлено аналіз наступних функцій трансформування [12, 13]:

- поліноміальне трансформування;
- трансформування за методом Гельмерта;
- афінне трансформування;
- трансформування за методом скінченних елементів.

Поліноміальне трансформування. Метод перетворення поліномом другого ступеня потребує визначення дванадцяти невідомих параметрів. Для побудови інтерполяційного полінома другого ступеня необхідно і достатньо визначити параметри проєктивного трансформування за шістьма опорними точками. Для побудови апроксимаційного полінома другого ступеня кількість опорних точок повинна бути більшою, ніж шість, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме $2n - 12$ [12, 13].

Метод перетворення поліномом третього ступеня потребує визначення двадцяти невідомих параметрів. Для побудови інтерполяційного полінома третього ступеня необхідно і достатньо визначити параметри проєктивного трансформування за десятьма опорними точками. Для побудови апроксимаційного полінома третього ступеня кількість опорних точок має бути

більшою, ніж 10, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме $2n - 20$ [12, 13].

Трансформування за методами побудови поліномів другого чи третього ступеня виконують за наявності значних нелінійних спотворень та великої кількості опорних точок, оскільки побудова інтерполяційного полінома, як правило, не забезпечує достатньої точності трансформування, оскільки спотворення виправляються найкраще поблизу опорних точок, залишаючись значними за величиною на ділянках, де густина опорних точок є низькою [12, 13].

Трансформування за методом Гельмерта. Застосування методу Гельмерта потребує визначення чотирьох невідомих параметрів. Для трансформування за інтерполяційним методом необхідно і достатньо визначити параметри Гельмерта за двома опорними точками. Для трансформування апроксимацією кількість опорних точок повинна бути більшою, ніж дві, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме $2n - 4$ [12, 13].

Трансформування за методом Гельмерта зазвичай виконують у разі невеликої кількості суміщених точок, проте воно не дає змоги досягти високої точності трансформування [12, 13].

Афінне трансформування. За методом афінного перетворення потрібно визначити шість невідомих параметрів. Для трансформування за інтерполяційним методом необхідно і достатньо визначити параметри афінного трансформування за трьома опорними точками. Для трансформування за апроксимаційним методом афінного перетворення кількість опорних точок повинна бути більшою ніж три, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме $2n - 6$ [12, 13].

За афінного перетворення лінії, які були паралельними в системі координат uv , перетворюються у паралельні лінії в системі координат xy . Трансформування

за методом афінного перетворення зазвичай виконують за достатньої кількості суміщених точок [12, 13].

Трансформування за методом скінченних елементів. З метою перетворення координат з однієї системи в іншу як вихідні дані розглядають різниці Δx , Δy планових координат Гаусса – Крюгера геодезичних пунктів для певної території, відомих у двох системах. Отже, можливими є два підходи [12, 13]:

- використання трикутних скінченних елементів на основі різниць геодезичних координат у вершинах трикутників, що дає можливість застосування методу тріангуляції;

- використання прямокутних скінченних елементів, розділених на рівномірному ґраті, що зумовлює додаткову задачу – прогнозування вихідних різниць геодезичних координат з вершин трикутників у вершини прямокутників та побудову такого скінченного елемента, який забезпечує необхідну точність інтерполяції в межах кожного прямокутника.

Загальний алгоритм трансформування координат точок координат від СК-42 до УСК-2000 складається з таких етапів [12, 13]:

- створення інтерполяційної моделі трансформаційного поля на задану територію;

- трансформування координат за інтерполяційною моделлю трансформаційного поля.

Створення трансформаційного поля у вигляді TIN-моделі. Згідно з методом скінчених елементів трансформаційне поле розчленовують на трикутники і для кожного трикутника визначають інтерполяційні функції у спосіб афінного перетворення (рис. 1.3) [12, 13].

Для поділу на трикутники (побудова TIN-моделі) обрано метод тріангуляції Делоне, тобто з усіх можливих тріангуляцій на наборі суміщених геодезичних пунктів обирають той варіант, де трикутники найбільш близькі до рівносторонніх, що підвищує стійкість обчислення та точність моделі [12, 13].

Алгоритм створення інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля охоплює [12, 13]:

- підготовку вихідних даних суміщених пунктів для побудови трансформаційного поля, координати яких визначені в СК-42 та УСК-2000;
- побудову TIN-моделі суміщених пунктів на задану територію;
- створення інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля;
- контроль за побудовою інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля.

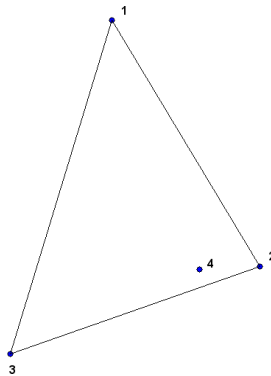


Рис. 1.3 Скінчений елемент інтерполяційної TIN-моделі [12, 13]

Для побудови інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля для кожного трикутника моделі (скінченого елемента) складають і розв’язують систему із шістьох рівнянь, описуючи кожну вершину трикутника в матричному вигляді рівняннями виду [12, 13]:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_x \cos \theta_x & m_y \sin \theta_y \\ m_x \sin \theta_x & m_y \cos \theta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}, \quad (1.1)$$

де $x_0, y_0, \theta_x, \theta_y, m_x, m_y$ – інтерполяційні коефіцієнти трикутника, u, v – плоскі прямокутні координати геодезичного пункту (вершини трикутника) в системі координат УСК-2000; x, y – плоскі прямокутні координати геодезичного пункту (вершини трикутника) в системі координат СК-42.

Для контролю побудови інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля за знайденими коефіцієнтами за формулою (2.2) визначають координати вершин трикутників в УСК-2000 і порівнюють із заданими [12, 13]:

$$\Delta = u_0 - u_3, \quad (1.2)$$

$$\Delta = v_0 - v_3, \quad (1.3)$$

де u_0, v_0 – обчислені координати вершини трикутника в УСК-2000; u_3, v_3 – задані координати вершини трикутника в УСК-2000.

Для афінного трансформування за методом скінченних елементів характерні такі властивості [12, 13]:

- визначення параметрів трансформування для кожного трикутника залежить тільки від координат вершин трикутника;
- у процесі трансформування координат кожна точка (вершина трикутника) в одній системі координат точно «переходить» в ідентичну точку (вершину трикутника) в іншій системі координат;
- трансформування є неперервним, оскільки точки, які лежать на ребрах трикутників в одній системі координат, трансформуються в точки, які лежать на ребрах перетворених трикутників в іншій системі координат, незалежно від того, які при цьому використано параметри трансформування суміжних трикутників;
- збільшення кількості та щільності суміщених точок у деяких областях викликає тільки локальне уточнення параметрів трансформування, причому параметри трансформування в інших областях залишаються незмінними.

Створення трансформаційного поля у вигляді GRID-моделі. У такому разі згідно з методом скінченних елементів трансформаційне поле поділяють на чотирикутні скінченні елементи (рис. 1.4). Задачу з побудови трансформаційного поля у вигляді GRID-моделі розв'язують шляхом побудови регулярного масиву значень $\Delta x, \Delta y$ вузлових точок по нерегулярному масиву (x, y) -координат, а потім визначають інтерполяційні коефіцієнти для трансформування координат для кожного скінченного елемента [12, 13].

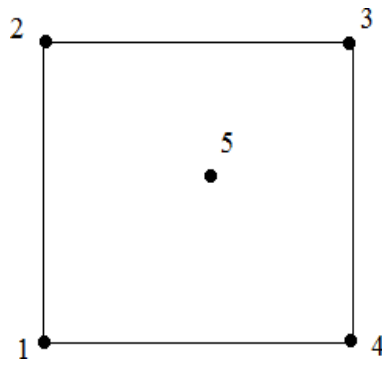


Рис. 1.4 Скінчений елемент інтерполяційної GRID-моделі [12, 13]

Термін «нерегулярний масив координат» означає, що x , y – координати точок, розподілені по області карти нерівномірно. Для створення трансформаційного поля потрібен регулярний масив вузлових точок. Такий обов’язковий поділ прямокутних елементів на рівномірному ґраті призводить до додаткової задачі прогнозу вихідних різниць геодезичних координат заданих хаотично у вершини прямокутників (рис. 1.5) для можливості використання базисної функції, яка б забезпечила необхідну точність інтерполяції в межах кожного прямокутника [12, 13].

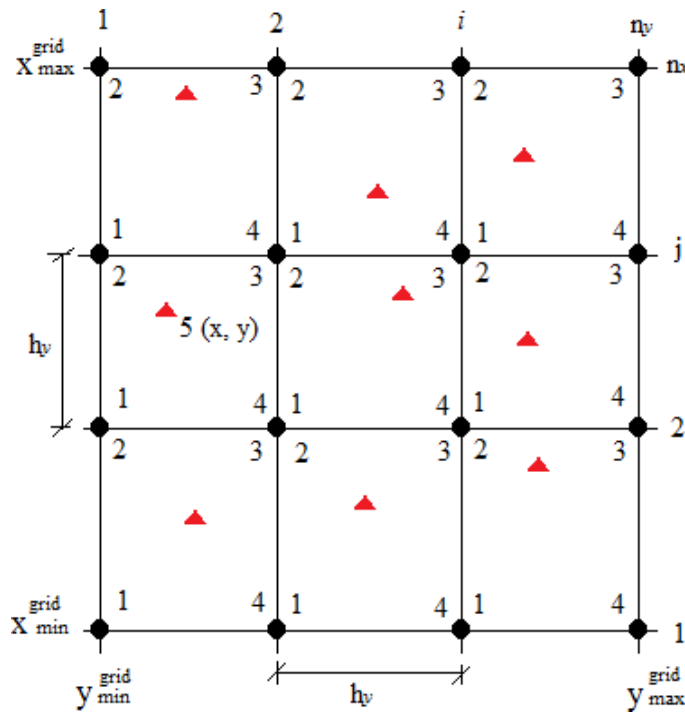


Рис. 1.5 Регулярна сітка [12, 13]

Алгоритм створення інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля [12, 13]:

- підготовка вихідних даних суміщених пунктів для побудови трансформаційного поля, координати яких визначені в СК-42 та УСК-2000;
- побудова регулярного масиву вузлових точок – GRID;
- створення інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля;
- контроль за побудовою інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля.

У потужних ГІС-продуктах побудувати регулярний масив вузлових точок можна за допомогою алгоритмів, кожному з яких властива певна процедура інтерполяції даних [12, 13]:

- крігінг (Kriging);
- обернено зважена відстань (Inverse Distance to a Power);
- сплайн (Spline);
- найближчий сусід (Natural Neighbor) тощо.

Найкращий лінійний прогноз проміжних значень дає метод крігінгу [12, 13].

Крігінг належить до геостатистичних методів, оснований на статистичних моделях, що містять аналіз автокореляції (статистичні залежності між вимірюваними точками). За допомогою геостатистичних методів можна не тільки створювати поверхню прогнозованих значень, а й отримувати деякі виміри достовірності (точності) прогнозованих значень [12, 13].

Використання крігінгу передбачає, що відстань (напрямок) між опорними точками відображає просторову кореляцію, яка може бути використана для пояснення змін на поверхні. У цьому методі використано математичну функцію для певної кількості точок або всіх точок в межах заданого радіуса, для того щоб визначити вихідне значення для всіх напрямків. Крігінг – покроковий процес; він

охоплює пошуковий статистичний аналіз даних, моделювання варіограм, створення поверхні та (додатково) вивчення поверхні дисперсії.

Застосування крігінгу є доцільним, коли відомо, що є просторово корельована відстань або спрямована зміна в даних [12, 13].

За методом крігінгу виконують дві групи завдань [12, 13]:

- кількісне визначення просторової структури даних;
- створення прогнозу.

Кількісне визначення просторової структури даних, відоме як побудова варіограм, дає можливість дібрати до даних модель просторової залежності. Для розрахунку (прогнозу) невідомого значення змінної в заданому місці крігінг буде використовувати відповідну (дібрану) модель варіограми, конфігурацію просторових даних і значення в точках вимірювання навколо заданого місця [12, 13].

Крігінг зважає наколишні вимірювані значення, щоб отримати прогноз для невимірюваного місцеположення. Оцінка значення просторової змінної Z в деякій точці, в якій не виконано вимірювання, визначають за формулою [12, 13]:

$$\hat{z}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i), \quad (1.4)$$

де $Z(S_i)$ – вимірюване значення місцеположення i ; λ_i – невідома вага для вимірюваного значення в місцеположенні i ; S_0 – місцеположення прогнозу; n – кількість вимірюваних значень.

Отже, n ваг λ_i є рішенням системи крігінгу [12, 13].

Після створення регулярної сітки створюють інтерполяційну модель трансформаційного поля шляхом інтерполювання значень у найближчих вузлах відносно клітинки сітки, в яку потрапляє точка з невідомим значенням функції [12, 13].

Завдання побудови інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля зводиться до використання обраного методу інтерполювання функції двох змінних. Для визначення точних значень для кожної точки в межах скінченного

елемента застосовують метод білінійної інтерполяції – лінійну інтерполяцію функції двох змінних, тобто інтерполяцію за чотирма точками [12, 13].

Основна ідея полягає в тому, щоб виконати лінійну інтерполяцію спочатку в одному напрямку, а потім – в іншому (рис. 1.6). Потрібно знайти значення невідомої функції f у точці $(x, y) = Z$. Передбачається, що відомими є значення f у чотирьох точках $T1(x_1, y_1)$, $T2(x_2, y_1)$, $T3(x_2, y_2)$ і $T4(x_1, y_2) = Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ відповідно [12, 13].

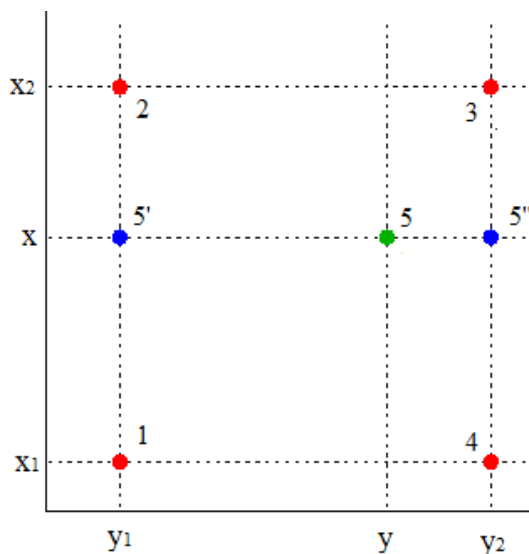


Рис. 1.6 Схема білінійної інтерполяції значень поправок з вершин скінченного елемента в задану точку [12, 13]

Спочатку виконують лінійну інтерполяцію в x -напрямку [12, 13]:

$$Z \approx f(x, y) \approx a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy. \quad (1.5)$$

Рівняння розв'язують, знаходячи інтерполяційні коефіцієнти [12, 13].

Коефіцієнти визначають, розв'язавши лінійну систему [12, 13]:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1y_1 \\ 1 & x_2 & y_1 & x_2y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2y_2 \\ 1 & x_1 & y_2 & x_1y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix}, \quad (1.6)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 – інтерполяційні коефіцієнти для визначення поправки Z для переходу від координат, визначених в СК-42, до координат в УСК-2000 для точки в межах скінченного елемента.

Для контролю побудови інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля за знайденими коефіцієнтами визначають поправки у вершинах чотирикутника і порівнюють із заданими [12, 13]:

$$\Delta = Z_0 - Z_3, \quad (1.7)$$

Для трансформування за допомогою GRID-моделі характерні такі властивості [12, 13]:

- функція (1.5) – лінійна вздовж всіх сторін прямокутника, завдяки цьому можливим є неперервний перехід від одного прямокутника до наступного;
- визначення параметрів трансформування для кожного скінченного елемента залежить тільки від значень у вершинах чотирикутника;
- у процесі трансформування координат кожна точка (вершина чотирикутника) в одній системі координат точно «переходить» в ідентичну точку в іншій системі координат;
- трансформування за допомогою GRID-моделі є відповідним міжнародним стандартам.

З викладеного випливає, що для переходу від координат опорних точок в місцевій системі координат, утвореній від СК-42, до координат цих точок в УСК-2000 потрібно створити локальне трансформаційне поле [12, 13].

Трансформаційне поле доречно створювати за методом скінченних елементів [12, 13].

Для побудови трансформаційного поля вихідними даними є набір даних у вигляді координат опорних точок в місцевій системі координат, утвореній від СК-42, координат цих точок в УСК-2000, значення зміщень по x та y [12, 13].

Трансформаційне поле створюють у вигляді TIN- або GRID-моделі. Відзначимо, що у програмних комплексах у сфері ГІС найчастіше представлено інструмент побудови трансформаційного поля у вигляді GRID-сітки [12, 13].

Для виконання трансформації картографічних матеріалів певної території створюють файл NTV2, в якому задано параметри трансформаційного поля [12, 13].

Згідно з анотацією, авторами статті [14] було викладено результати досліджень і розробок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 у середовищі ArcGIS ESRI, виконаних у Науково-дослідному інституті геодезії і картографії. Зазначається, що ці додатки в середовищі геоінформаційної системи ArcGIS дозволяють значно автоматизувати процес оброблення даних та забезпечують ефективне використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 і включають:

- файл опису системи координат УСК-2000 засобами ArcGIS в форматі .prj;
- трансформаційне поле в форматі NTV-2 для забезпечення трансформування координат з системи координат СК-42/СК-63 в систему координат УСК-2000;
- трансформаційне поле та функції перерахунку нормальних висот Балтійської системи висот 1977 року у геодезичні висоти в системі координат WGS-84 в прямому та зворотному напрямках з використанням цифрової моделі квазігеоїду [14].

У розрізі теми дипломної роботи, розглянемо викладений матеріал стосовно трансформування координат із системи координат СК-42 / СК-63 в систему координат УСК-2000 [14].

Для переходу від застарілих малоточних систем координат СК-42 та СК 63 в НДІГК було створено трансформаційне поле у вигляді TIN моделі, побудованої на пунктах Державної геодезичної мережі . Перерахунок координат точок від системи координат СК-42 / СК-63 в систему координат УСК-2000 здійснюється афінним трансформуванням методу скінченних елементів. Середня квадратична похибка трансформування не перевищує 10 см [14].

Крім того, для забезпечення трансформування координат точок з системи координат СК-42 / СК-63 в систему координат УСК-2000 НДІГК розробив трансформаційне поле в форматі Ntv2 (National Transformation Version 2. Government of Ontario IT Standards (GO-ITS)), який реалізує регулярну модель GRID і використовується у середовищі ArcGIS [14].

Файл трансформаційного поля NTV-2 складається з двох частин [14]:

- загальна інформація про трансформаційне поле;
- трансформаційне поле в межах території України у вигляді окремих значень поправок від геодезичних координат В, L в системі координат СК-42 до геодезичних координат В, L в системі координат УСК-2000 у вузлах регулярної сітки.

Розміри сітки у моделі GRID складає 15 x 15 секунд. Розроблений файл у форматі Ntv2 завантажується у C:\Program Files (x86)\ArcGIS\Desktop10.0\pedata\ntv2\ukraine [14].

Для виконання трансформування координат необхідно в ArcMap через ArcToolbox необхідно створити географічне перетворення за методом NTV2. В результаті, географічне перетворення в форматі .gtf буде збережено для користувача [14]:

C:\Users\Administrator\AppData\Roaming\ESRI\Desktop10.0\ArcToolbox\CustomTransformations.

Висновки до розділу 1

Викладено та проаналізовано перелік нормативно-правових актів, якими регулюється використання діючих та архівних систем координат.

На основі розглянутих чинних нормативних документів було обґрунтовано необхідність трансформування координат з архівних у діючі системи координат.

Викладено та проаналізовано зміст робіт науковців, спрямованих на обґрунтування та дослідження методики трансформування. У роботах проаналізовано основні методи трансформування, розглянуто доцільність їх використання для різних завдань: топографо-геодезичній, картографічній, землевпорядній та містобудівній діяльності.

**РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ТРАНСФОРМУВАННЯ КООРДИНАТ ЗА
ДОПОМОГОЮ GRID МОДЕЛІ У ФОРМАТІ NTV2 З МСК (ВАРАШ-42) В
МСК-56**

2.1 Опис систем координат МСК (Вараш-42) та МСК-56

МСК-56 – місцева система координат, утворена від УСК-2000, на територію Рівненської області. Вараш-42 – місцева система координат, утворена від СК-42, на територію міста Вараш.

Опис цих систем було надано у вигляді таблиць параметрів зв'язку та у вигляді датумів у форматі WKT, що використовується для опису систем координат в ПЗ «QGIS». Ці матеріали наведені нижче (табл. 2.1, табл. 2.2).

Таблиця 2.1

Опис МСК (Вараш-42)

№	Назва параметру	Значення параметру
1.	Система координат від якої утворена місцева система координат	СК-42, проекція Гаусса-Крюгера
2.	Значення осьового меридіану місцевої системи координат	27°00'00"
3.	Зміщення початку місцевої системи координат по осі абсцис, м	-5 665 XXX,XXX
4.	Зміщення початку місцевої системи координат по осі ординат, м	83 XXX,XXX
5.	Кут повороту	0° 00' 00.000"
6.	Масштабний коефіцієнт	1.00000000

Опис МСК (Вараш-42) у форматі WKT:

```
PROJCRS["UA_UCS_1942_LCS_Varash",  
BASEGEOGCRS["Pulkovo 1942",  
DATUM["Pulkovo 1942",  
ELLIPSOID["Krassowsky 1940",6378245,298.3,  
LENGTHUNIT["metre",1]],  
ID["EPSG",6284]],
```

```

PRIMEM["Greenwich",0,
ANGLEUNIT["Degree",0.0174532925199433]],
CONVERSION["unnamed (Gauss Kruger)",
METHOD["Transverse Mercator",
ID["EPSG",9807]],
PARAMETER["Latitude of natural origin",0,
ANGLEUNIT["Degree",0.0174532925199433],
ID["EPSG",8801]],
PARAMETER["Longitude of natural origin",27,
ANGLEUNIT["Degree",0.0174532925199433],
ID["EPSG",8802]],
PARAMETER["Scale factor at natural origin",1,
SCALEUNIT["unity",1],
ID["EPSG",8805]],
PARAMETER["False easting",83XXX.XX,
LENGTHUNIT["metre",1],
ID["EPSG",8806]],
PARAMETER["False northing",-5665XXX.XX,
LENGTHUNIT["metre",1],
ID["EPSG",8807]]],
CS[Cartesian,2],
AXIS["(E)",east,
ORDER[1],
LENGTHUNIT["metre",1,
ID["EPSG",9001]]],
AXIS["(N)",north,
ORDER[2],
LENGTHUNIT["metre",1,
ID["EPSG",9001]]]]

```

Таблиця 2.2

Опис МСК-56

№	Назва параметру	Значення параметру
1.	Система координат від якої утворена місцева система координат	УСК-2000, проекція Гаусса-Крюгера
2.	Значення осевого меридіану місцевої системи координат	27°00' 00.00"

№	Назва параметру	Значення параметру
3.	Зміщення початку місцевої системи координат по осі абсцис, м	0.000
4.	Зміщення початку місцевої системи координат по осі ординат, м	300 000.00
5.	Кут повороту	0°00' 00.00"
6.	Масштабний коефіцієнт	1.00

Опис МСК-56 у форматі WKT:

```

PROJCRS["UCS-2000 / LCS-56 Rivne",
BASEGEOGCRS["UCS-2000",
DATUM["Ukraine 2000",
ELLIPSOID["Krassowsky 1940",6378245,298.3,
LENGTHUNIT["metre",1]]],
PRIMEM["Greenwich",0,
ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433]],
ID["EPSG",5561]],
CONVERSION["Local coordinate system of Rivne and Khmelnytsky regions",
METHOD["Transverse Mercator",
ID["EPSG",9807]],
PARAMETER["Latitude of natural origin",0,
ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
ID["EPSG",8801]],
PARAMETER["Longitude of natural origin",27,
ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
ID["EPSG",8802]],
PARAMETER["Scale factor at natural origin",1,
SCALEUNIT["unity",1],

```

```
ID["EPSG",8805]],
PARAMETER["False easting",300000,
  LENGTHUNIT["metre",1],
  ID["EPSG",8806]],
PARAMETER["False northing",0,
  LENGTHUNIT["metre",1],
  ID["EPSG",8807]]],
CS[Cartesian,2],
  AXIS["northing (x)",north,
    ORDER[1],
    LENGTHUNIT["metre",1]],
  AXIS["easting (y)",east,
    ORDER[2],
    LENGTHUNIT["metre",1]],
USAGE[
  SCOPE["Cadastre, topographic mapping (large scale)."],
  AREA["Ukraine - Rivne region (oblast)."],
  BBOX[50,25.08,51.95,27.74]],
ID["EPSG",9855]]
```

2.2 Опис методики

Опис методики зручно представити у вигляді схеми трансформування файлів:

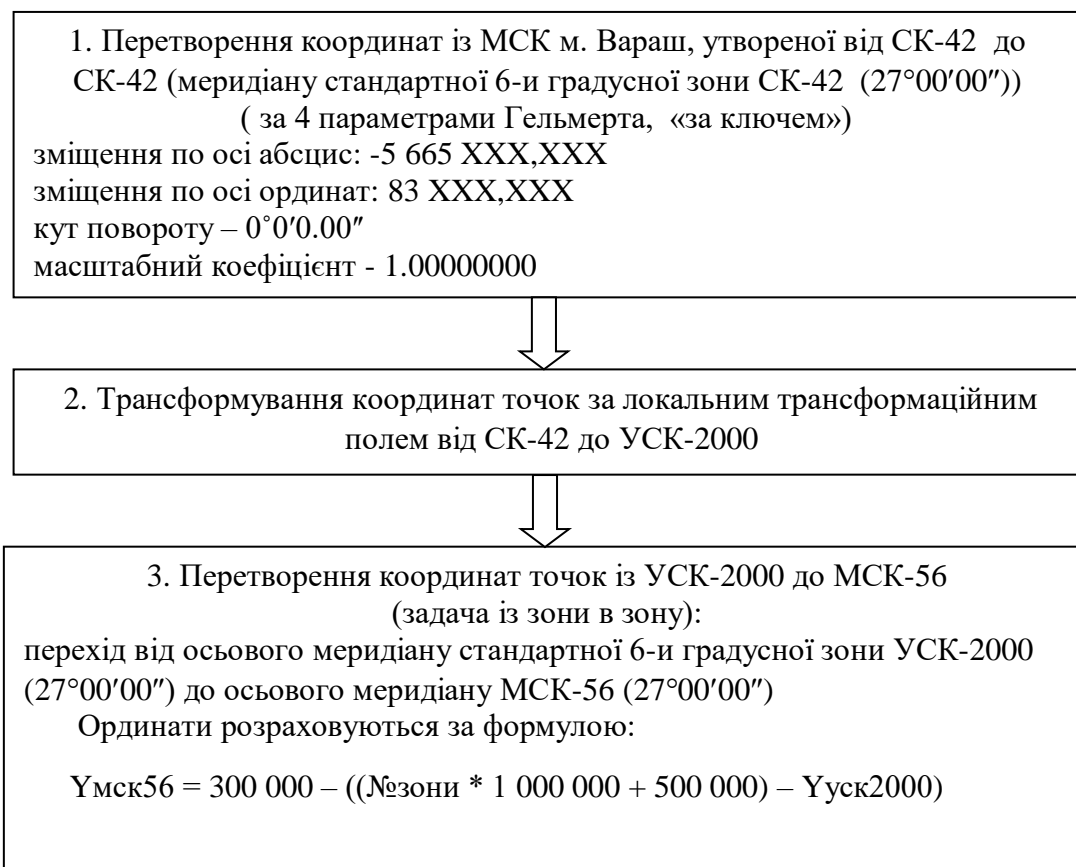


Рис. 2.1 Схема трансформування координат точок

За цією схемою видно, що перетворення координат із МСК (Вараш-42) до СК-42 було здійснено за чотирма параметрами Гельмерта:

- зміщення по осі абсцис;
- зміщення по осі ординат;
- кут повороту;
- масштабний коефіцієнт

Параметри Гельмерта, також відомі як «ключ» переходу, були надані ДП «НДІГК».

Трансформування координат точок за локальним трансформаційним полем від СК-42 до УСК-2000. Для побудови трансформаційного поля були використані координати суміщених геодезичних пунктів геодезичної мережі м. Вараш, координати яких визначені в системах координат СК-42 та УСК-2000. Трансформаційне поле в форматі NTV2 побудоване згідно вимог стандарту National Transformation Version 2. Government of Ontario IT Standards (GO-ITS). Вид та розмір трансформаційного поля у форматі NTV2 наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

Розміри трансформаційного поля в кутовій мірі

Назва кута поля	B	L
пн.-зх	51° 22' 40.000"	25° 50' 00.000"
пн.-сх.	51° 22' 40.000"	26° 0' 20.000"
пд.-сх	51° 17' 00.000"	26° 0' 20.000"
пд.-зх.	51° 17' 00.000"	25° 50' 00.000"

Розміри сітки трансформаційного поля на територію міста в форматі NTV2 складають 5 x 5 секунд. Вихідна модель трансформування – триангуляційна модель (TIN). Файл трансформаційного поля NTV2 складається з двох частин:

- загальна інформація про трансформаційне поле;
- трансформаційне поле в межах території м. Вараш у вигляді окремих значень поправок в секундах від геодезичних координат B, L в системі координат СК-42 до геодезичних координат B, L в системі координат УСК-2000 у вузлах регулярної сітки.

Перетворення координат точок із УСК-2000 до МСК-56. Таке перетворення називається «задачею із зони в зону», оскільки відбувається перехід від осьового меридіану стандартної 6-и градусної зони УСК-2000 (27°00'00") до осьового меридіану МСК-56 (27°00'00"). При заданому

перетворенні координати по осі абсцис залишаються такими ж, як і були в УСК-2000.

Координати по осі ординат розраховано за формулою (2.1):

$$Y_{\text{МСК}56} = 300\,000 - ((N_{\text{зони}} * 1\,000\,000 + 500\,000) - Y_{\text{УСК}2000}) \quad (2.1)$$

де $Y_{\text{МСК}56}$ – координата точки по осі ординат в МСК-56;

$N_{\text{зони}}$ – номер стандартної 6-и градусної зони Гауса-Крюгера, на задану місцевість;

$Y_{\text{УСК}2000}$ – координата точки по осі ординат в УСК-2000.

Спочатку враховується зміщення в шестиградусній зоні Гауса-Крюгера УСК-2000 у розмірі 500 000 м, після чого враховується зміщення по осі ординат 300 000 м для переходу в МСК-56.

2.3 Опис вихідних даних

Вихідні дані представляють собою геодезичні пункти ДГМ 2-3 класів та ГМЗ 4-го класу у форматі *.shp. Першопочатково надані у вигляді:

1) Каталогів координат та висот пунктів в місцевій системі координат м. Вараш.

2) Каталогів координат та висот геодезичних пунктів в системі координат УСК-2000 та МСК-56, отриманих в результаті ГНСС-спостережень в 2023 році.

Координати пунктів Державної геодезичної мережі 2-3 класів обчислені у Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000, а висоти пунктів у Балтійській системі висот 1977 року. Координати пунктів полігонометрії геодезичної мережі згущення 4 класу м. Вараш обчислені у місцевій системі координат м. Вараш, яка утворена від системи координат 1942 року та в місцевій системі висот, прийнятій раніше для м. Вараш.

Прямокутні координати всіх пунктів обчислені у проекції Гауса-Крюгера.

Нижче представлені таблиці з переліком геодезичних пунктів та відомостей про них у МСК (Вараш-42), УСК-2000, МСК-56 (табл. 2.4, табл. 2.5, табл. 2.6):

Таблиця 2.4

Вихідні координати точок в МСК (Вараш-42)

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хмск42	Үмск42
М350821600	Вараш	2	24 52Х,ХХХ	4 36Х,ХХХ
М350238000	Дорожній	3	27 83Х,ХХХ	6 40Х,ХХХ
М350242010	80	4	25 570,021	3 987,747
М350241020	99	4	28 537,092	5 163,575
М350241060	132	4	27 303,168	2 748,703
М350241090	139	4	26 216,945	2 880,974
М350242030	195	4	25 321,741	6 511,161
М350842130	6	4	23 791,365	4 336,541
М350842150	м30	4	22 870,250	6 597,159
М350842170	539	4	22 529,788	8 206,029
М350843640	74	4	25 860,451	3 509,904
М350843020	151	4	26 927,169	3 978,112
М350843040	211	4	23 093,714	8 178,954
М350843060	500	4	23 410,640	5 493,011
М350843080	502	4	23 782,603	4 980,276
М350843110	508a	4	23 752,175	4 619,499
М350843120	509	4	23 603,082	4 816,976
М350843140	873	4	23 527,016	7 160,418

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хмск42	Үмск42
M350843160	16417	4	23 928,644	5 773,165
M350843180	11175	4	26 173,935	4 479,969
M350843630	Rp12	4	22 792,128	5 319,582
M350843250	Дачі	4	22 286,396	6 340,369
M350843290	м32	4	23 117,323	6 816,731
M350843330	м61	4	24 414,037	6 738,775
M350843230	16687	4	23 807,027	5 701,381

Таблиця 2.5

Вихідні координати точок в УСК-2000

Індекс	Нові назви	Клас пункту	X2000	Y2000
M350821600	Вараш	2	5 689 71X,XXX	5 421 04X,XXX
M350238000	Дорожній	3	5 693 02X,XXX	5 423 08X,XXX
M350242010	80	4	5 690 757,385	5 420 669,717
M350241020	99	4	5 693 724,431	5 421 845,551
M350241060	132	4	5 692 490,474	5 419 430,635
M350241090	139	4	5 691 404,266	5 419 562,961
M350242030	195	4	5 690 509,150	5 423 193,217
M350842130	6	4	5 688 978,597	5 421 018,631
M350842150	м30	4	5 688 057,586	5 423 279,195
M350842170	539	4	5 687 717,134	5 424 888,138
M350843640	74	4	5 691 047,741	5 420 191,899
M350843020	151	4	5 692 114,488	5 420 659,998

Індекс	Нові назви	Клас пункту	X2000	Y2000
M350843040	211	4	5 688 281,035	5 424 860,976
M350843060	500	4	5 688 597,804	5 422 175,032
M350843080	502	4	5 688 969,780	5 421 662,261
M350843110	508a	4	5 688 939,354	5 421 301,458
M350843120	509	4	5 688 790,243	5 421 498,951
M350843140	873	4	5 688 714,356	5 423 842,547
M350843160	16417	4	5 689 115,821	5 422 455,126
M350843180	11175	4	5 691 361,294	5 421 161,956
M350843630	Rp12	4	5 687 979,295	5 422 001,531
M350843250	Дачі	4	5 687 473,599	5 423 022,511
M350843290	м32	4	5 688 304,644	5 423 498,805
M350843330	м61	4	5 689 601,423	5 423 420,822
M350843230	16687	4	5 688 994,206	5 422 383,361

Таблиця 2.6

Вихідні координати точок в МСК-56

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Xмск56	Yмск56
M350821600	Вараш	2	5 689 71X,XXX	221 04X,XXX
M350238000	Дорожній	3	5 693 02X,XXX	223 08X,XXX
M350242010	80	4	5 690 757,385	220 669,717
M350241020	99	4	5 693 724,431	221 845,551
M350241060	132	4	5 692 490,474	219 430,635
M350241090	139	4	5 691 404,266	219 562,961

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хмск56	Үмск56
M350242030	195	4	5 690 509,150	223 193,217
M350842130	6	4	5 688 978,597	221 018,631
M350842150	м30	4	5 688 057,586	223 279,195
M350842170	539	4	5 687 717,134	224 888,138
M350843640	74	4	5 691 047,741	220 191,899
M350843020	151	4	5 692 114,488	220 659,998
M350843040	211	4	5 688 281,035	224 860,976
M350843060	500	4	5 688 597,804	222 175,032
M350843080	502	4	5 688 969,780	221 662,261
M350843110	508a	4	5 688 939,354	221 301,458
M350843120	509	4	5 688 790,243	221 498,951
M350843140	873	4	5 688 714,356	223 842,547
M350843160	16417	4	5 689 115,821	222 455,126
M350843180	11175	4	5 691 361,294	221 161,956
M350843630	Рр12	4	5 687 979,295	222 001,531
M350843250	Дачі	4	5 687 473,599	223 022,511
M350843290	м32	4	5 688 304,644	223 498,805
M350843330	м61	4	5 689 601,423	223 420,822
M350843230	16687	4	5 688 994,206	222 383,361

Висновки до розділу 2

Були описані системи координат МСК (Вараш-42), МСК-56 та їх параметри. Опис цих систем представлено у вигляді таблиць параметрів зв'язку та у вигляді датумів у форматі WKT, що використовується для опису систем координат в ПЗ QGIS.

Представлено та покроково описано методику трансформування файлів у середовищі QGIS. Надано опис трансформаційного поля: розміри сітки трансформаційного поля на територію міста Вараш в форматі NTV2, вихідна трансформаційна модель та зміст файлу трансформаційного поля.

Описано вихідні дані: геодезичні пункти ДГМ 2-3 класів та ГМЗ 4-го класу у форматі **.shp*. Представлено таблиці з переліком геодезичних пунктів та відомостей про них у МСК (Вараш-42), УСК-2000, МСК-56.

**РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ ТРАНСФОРМУВАННЯ
КООРДИНАТ ЗА ДОПОМОГОЮ GRID МОДЕЛІ У ФОРМАТІ NTV2 У
СЕРЕДОВИЩІ QGIS**

3.1 Додавання незареєстрованих систем координат в середовищі QGIS

Оскільки QGIS використовує для опису систем координат репозиторій EPSG, в якому відсутній датум МСК (Вараш-42), необхідно власноруч додати його в розділ «Користувацькі проекції». Для цього потрібно виконати наступні дії:

- 1) Знайти у верхній частині ПЗ вкладку «Налаштування» та натиснути на неї.
- 2) У випадаючому списку обрати пункт «Користувацькі проекції» (рис. 3.1).

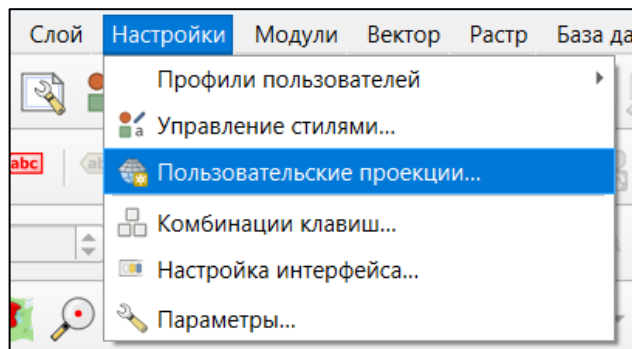


Рис. 3.1 Відкриття розділу «Користувацькі проекції»

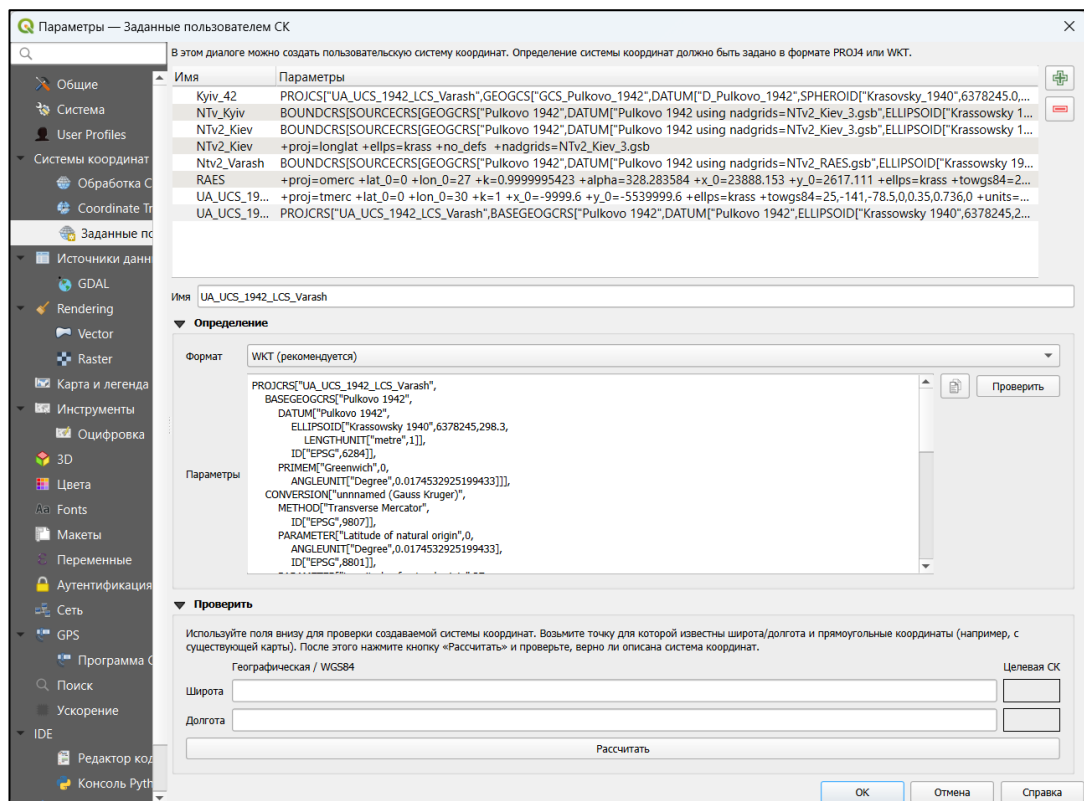


Рис. 3.2 Додавання опису користувацької СК МСК (Вараш-42)

У вікні користувацьких проекцій натиснуто на «+», вказано ім'я системи координат «UA_UCS_1942_LCS_Varash», обрано формат опису «WKT» та у текстовому блоці «Параметри» вписано датум МСК (Вараш-42). Натиснуто «ОК» (рис. 3.2).

3.2 Додавання трансформційного поля в QGIS та виконання трансформції координат

Перед тим, як приступити до виконання трансформції координат, необхідно додати трансформційне поле в QGIS. Процес додавання трансформційного поля NTV2 в QGIS ділиться на два етапи:

- 1) Запис файлу трансформційного поля формату «gsb» в папку: ... \QGIS \share \proj.
- 2) Додавання датуму трансформційного поля в розділ «Користувацькі проекції».

Відповідно до першого пункту, було знайдено папку «proj» та скопійовано туди файл формату *.gsb (рис. 3.3).



Рис. 3.3 Файл трансформційного поля, записаний в папку «proj»

Після того, як gsb-файл було записано до відповідної папки, додаємо трансформційне поле в QGIS у вигляді користувацької СК. При додаванні датуму трансформційного поля в розділ «Користувацькі проекції» збережено алгоритм, описаний в пункті 3.1 (рис. 3.4).

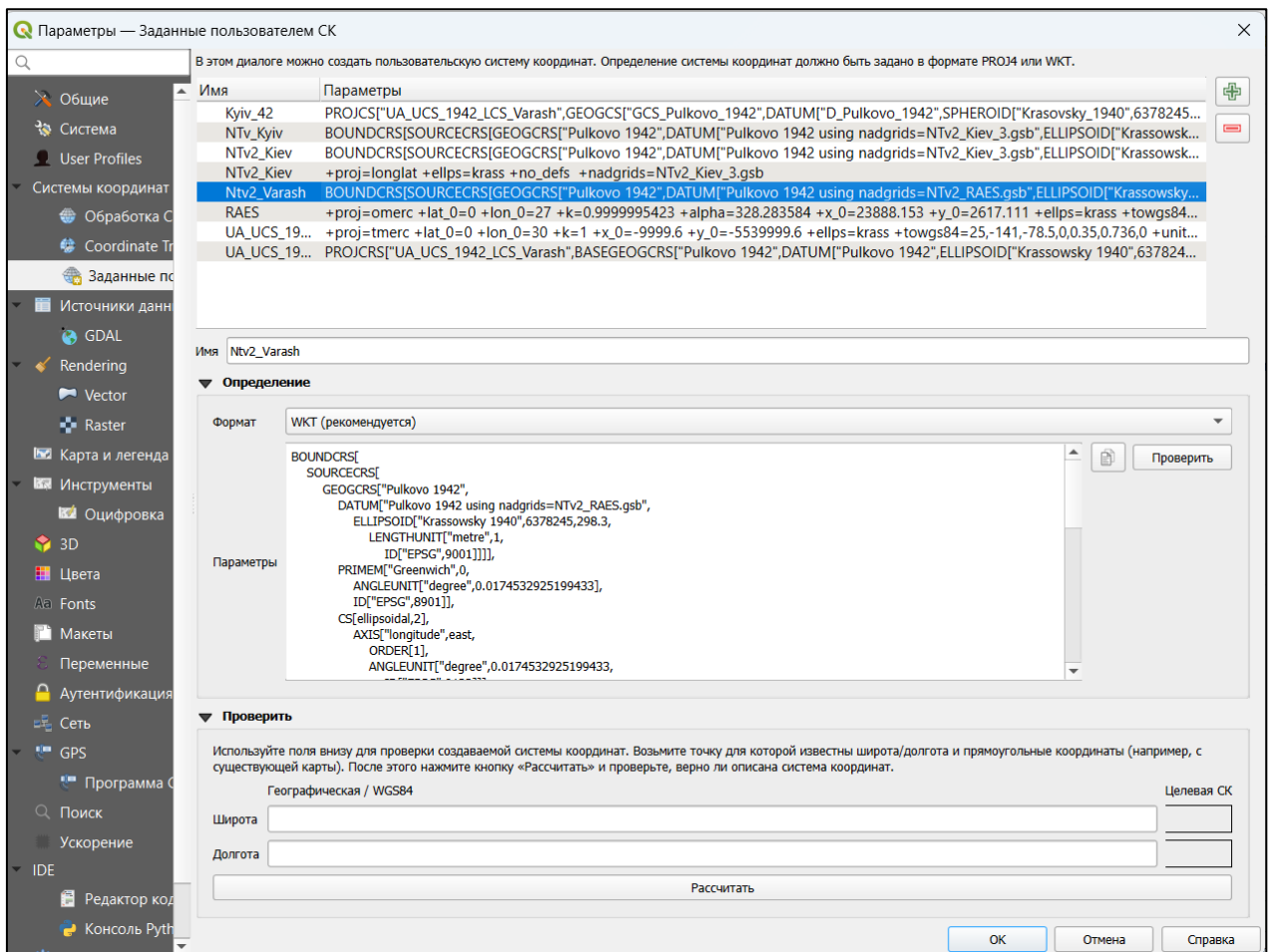


Рис. 3.4 Додавання опису трансформаційного поля NTV2 на територію м. Вараш

Вказано ім'я системи координат «NTv2_Varash» та у текстовому блоці «Параметри» вписано датум трансформаційного поля NTV2 на територію м. Вараш, представлений нижче:

```

BOUNDCRS[
SOURCECRS[
GEOGCRS["Pulkovo 1942",
DATUM["Pulkovo 1942 using nadgrids=NTv2_RAES.gsb",
ELLIPSOID["Krasowsky 1940",6378245,298.3,
LENGTHUNIT["metre",1,
ID["EPSG",9001]]],
PRIMEM["Greenwich",0,

```

```

    ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433],
    ID["EPSG",8901]],
  CS[ellipsoidal,2],
    AXIS["longitude",east,
      ORDER[1],
      ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433,
        ID["EPSG",9122]]],
    AXIS["latitude",north,
      ORDER[2],
      ANGLEUNIT["degree",0.0174532925199433,
        ID["EPSG",9122]]]],
  TARGETCRS[
    GEOGCRS["UCS-2000",
      DATUM["Ukraine 2000",
        ELLIPSOID["Krassowsky 1940",6378245,298.3,
          LENGTHUNIT["metre",1]],
        ID["EPSG",1077]],
      PRIMEM["Greenwich",0,
        ANGLEUNIT["Degree",0.0174532925199433]],
      CS[ellipsoidal,2],
        AXIS["longitude",east,
          ORDER[1],
          ANGLEUNIT["Degree",0.0174532925199433]],
        AXIS["latitude",north,
          ORDER[2],
          ANGLEUNIT["Degree",0.0174532925199433]]]],
    ABRIDGEDTRANSFORMATION["Pulkovo 1942 to UCS-2000",
      METHOD["NTv2",
        ID["EPSG",9615]],

```

```
PARAMETERFILE["Latitude and longitude difference file","NTv2_RAES.gsb",  
ID["EPSG",8656]]]]
```

Натискаємо «ОК».

Після того, як трансформаційне поле NTv2 було додано у QGIS, приступаємо безпосередньо до виконання трансформації координат.

Перетворення координат із МСК м. Вараш в СК-42 (5 зона)

Вихідні дані представлені нижче (табл. 3.1):

Таблиця 3.1

Вихідні координати точок в МСК (Вараш-42)

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хмск42	Үмск42
M350821600	Вараш	2	24 52X,XXX	4 36X,XXX
M350238000	Дорожній	3	27 83X,XXX	6 40X,XXX
M350242010	80	4	25 570,021	3 987,747
M350241020	99	4	28 537,092	5 163,575
M350241060	132	4	27 303,168	2 748,703
M350241090	139	4	26 216,945	2 880,974
M350242030	195	4	25 321,741	6 511,161
M350842130	6	4	23 791,365	4 336,541
M350842150	м30	4	22 870,250	6 597,159
M350842170	539	4	22 529,788	8 206,029
M350843640	74	4	25 860,451	3 509,904
M350843020	151	4	26 927,169	3 978,112
M350843040	211	4	23 093,714	8 178,954
M350843060	500	4	23 410,640	5 493,011
M350843080	502	4	23 782,603	4 980,276

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хмск42	Үмск42
M350843110	508a	4	23 752,175	4 619,499
M350843120	509	4	23 603,082	4 816,976
M350843140	873	4	23 527,016	7 160,418
M350843160	16417	4	23 928,644	5 773,165
M350843180	11175	4	26 173,935	4 479,969
M350843630	Rp12	4	22 792,128	5 319,582
M350843250	Дачі	4	22 286,396	6 340,369
M350843290	м32	4	23 117,323	6 816,731
M350843330	м61	4	24 414,037	6 738,775
M350843230	16687	4	23 807,027	5 701,381

Щоб перетворити координати векторного шару в QGIS, було виконано наступні дії (рис. 3.5):

1. Натиснуто правою кнопкою миші на потрібний шар;
2. У випадяючому вікні обрано «Експорт» - «Зберегти об'єкти як».

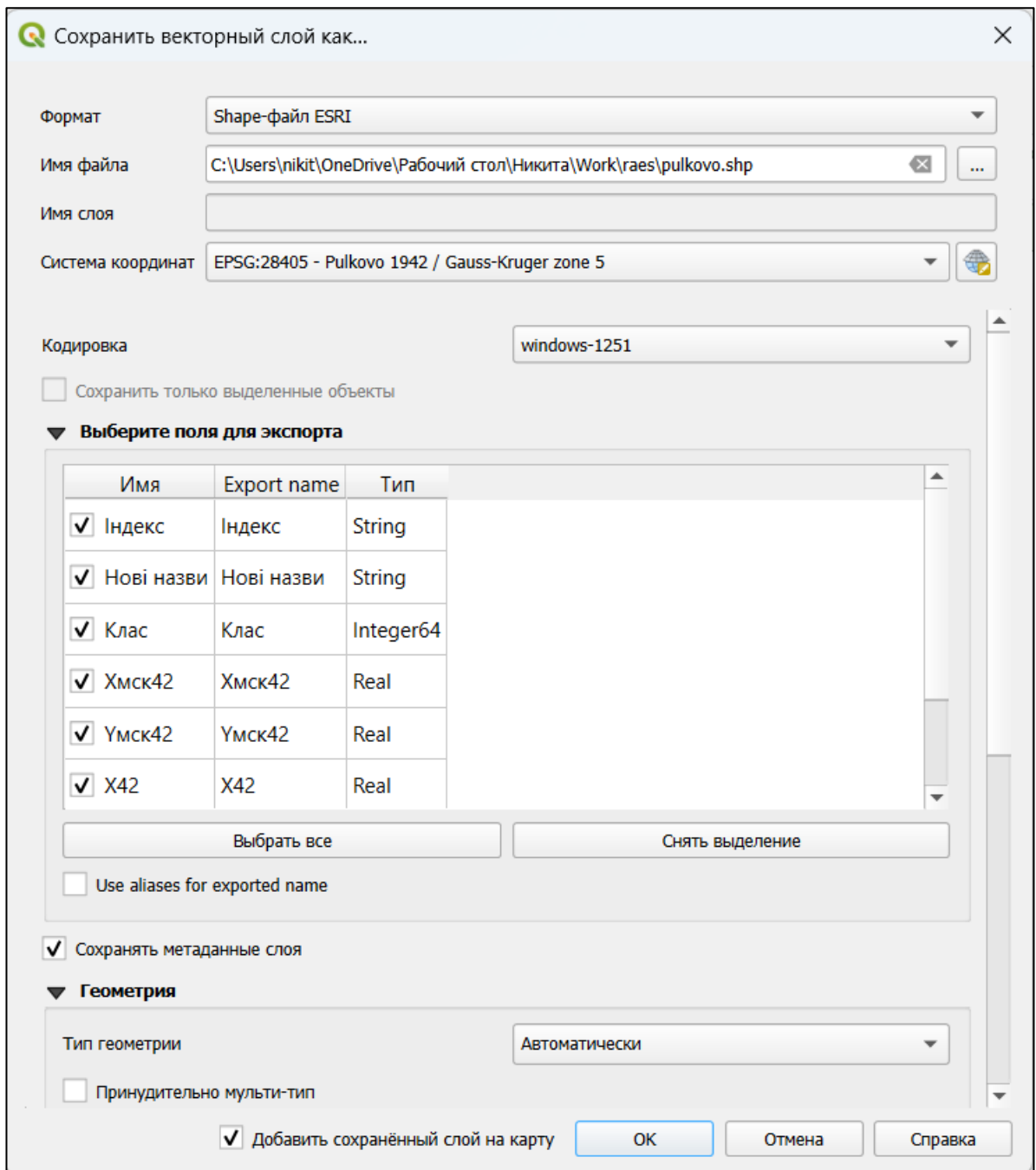


Рис. 3.5 Перетворення координат із МСК м. Вараш (СК-42) в СК-42 (5 зона)

Вказано шлях збереження, ім'я файлу, цільову систему координат (в даному випадку – Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 5 (EPSG:28405)).

Натиснуто «ОК». Було отримано векторний шар з наступними координатами (табл. 3.2):

Перетворені координати в СК-42 (5 зона)

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хск42_перетворені	Уск42_перетворені
M350821600	Вараш	2	568971X,XXX	542104X,XXX
M350238000	Дорожній	3	569302X,XXX	542308X,XXX
M350242010	80	4	5690758,670	5420671,520
M350241020	99	4	5693725,740	5421847,350
M350241060	132	4	5692491,820	5419432,470
M350241090	139	4	5691405,600	5419564,740
M350242030	195	4	5690510,390	5423194,930
M350842130	6	4	5688980,020	5421020,310
M350842150	м30	4	5688058,900	5423280,930
M350842170	539	4	5687718,440	5424889,800
M350843640	74	4	5691049,100	5420193,670
M350843020	151	4	5692115,820	5420661,880
M350843040	211	4	5688282,360	5424862,720
M350843060	500	4	5688599,290	5422176,780
M350843080	502	4	5688971,250	5421664,050
M350843110	508a	4	5688940,830	5421303,270
M350843120	509	4	5688791,730	5421500,750
M350843140	873	4	5688715,670	5423844,190
M350843160	16417	4	5689117,290	5422456,940
M350843180	11175	4	5691362,590	5421163,740
M350843630	Rp12	4	5687980,780	5422003,350

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хск42_перетворені	Үск42_перетворені
М350843250	Дачі	4	5687475,050	5423024,140
М350843290	м32	4	5688305,970	5423500,500
М350843330	м61	4	5689602,690	5423422,550
М350843230	16687	4	5688995,680	5422385,150

Було порівняно контрольні значення координат в СК-42 з перетвореними (табл. 3.3):

Таблиця 3.3

Результати порівняння контрольних значень координат в СК-42 та перетворених

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хск42	Үск42	Хск42_перетворені	Үск42_перетворені	dX	dY
M350821600	Вараш	2	568971X,XXX	542104X,XXX	568971X,XXX	542104X,XXX	0,000	0,000
M350238000	Дорожній	3	569302X,XXX	542308X,XXX	569302X,XXX	542308X,XXX	0,000	0,000
M350242010	80	4	5690758,670	5420671,520	5690758,670	5420671,520	0,000	0,000
M350241020	99	4	5693725,740	5421847,350	5693725,740	5421847,350	0,000	0,000
M350241060	132	4	5692491,820	5419432,470	5692491,820	5419432,470	0,000	0,000
M350241090	139	4	5691405,600	5419564,740	5691405,600	5419564,740	0,000	0,000
M350242030	195	4	5690510,390	5423194,930	5690510,390	5423194,930	0,000	0,000
M350842130	6	4	5688980,020	5421020,310	5688980,020	5421020,310	0,000	0,000
M350842150	м30	4	5688058,900	5423280,930	5688058,900	5423280,930	0,000	0,000
M350842170	539	4	5687718,440	5424889,800	5687718,440	5424889,800	0,000	0,000
M350843640	74	4	5691049,100	5420193,670	5691049,100	5420193,670	0,000	0,000
M350843020	151	4	5692115,820	5420661,880	5692115,820	5420661,880	0,000	0,000
M350843040	211	4	5688282,360	5424862,720	5688282,360	5424862,720	0,000	0,000
M350843060	500	4	5688599,290	5422176,780	5688599,290	5422176,780	0,000	0,000

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хск42	Үск42	Хск42_перетворені	Үск42_перетворені	dX	dY
M350843080	502	4	5688971,250	5421664,050	5688971,250	5421664,050	0,000	0,000
M350843110	508a	4	5688940,830	5421303,270	5688940,830	5421303,270	0,000	0,000
M350843120	509	4	5688791,730	5421500,750	5688791,730	5421500,750	0,000	0,000
M350843140	873	4	5688715,670	5423844,190	5688715,670	5423844,190	0,000	0,000
M350843160	16417	4	5689117,290	5422456,940	5689117,290	5422456,940	0,000	0,000
M350843180	11175	4	5691362,590	5421163,740	5691362,590	5421163,740	0,000	0,000
M350843630	Rp12	4	5687980,780	5422003,350	5687980,780	5422003,350	0,000	0,000
M350843250	Дачі	4	5687475,050	5423024,140	5687475,050	5423024,140	0,000	0,000
M350843290	м32	4	5688305,970	5423500,500	5688305,970	5423500,500	0,000	0,000
M350843330	м61	4	5689602,690	5423422,550	5689602,690	5423422,550	0,000	0,000
M350843230	16687	4	5688995,680	5422385,150	5688995,680	5422385,150	0,000	0,000

**Трансформування координат точок за локальним трансформаційним
полем NTv2 від СК-42 (5 зона) до УСК-2000**

Вихідні дані представлені нижче (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Перетворені координати в СК-42 (5 зона)

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хск42_перетворені	Уск42_перетворені
M350821600	Вараш	2	568971X,XXX	542104X,XXX
M350238000	Дорожній	3	569302X,XXX	542308X,XXX
M350242010	80	4	5690758,670	5420671,520
M350241020	99	4	5693725,740	5421847,350
M350241060	132	4	5692491,820	5419432,470
M350241090	139	4	5691405,600	5419564,740
M350242030	195	4	5690510,390	5423194,930
M350842130	6	4	5688980,020	5421020,310
M350842150	м30	4	5688058,900	5423280,930
M350842170	539	4	5687718,440	5424889,800
M350843640	74	4	5691049,100	5420193,670
M350843020	151	4	5692115,820	5420661,880
M350843040	211	4	5688282,360	5424862,720
M350843060	500	4	5688599,290	5422176,780
M350843080	502	4	5688971,250	5421664,050
M350843110	508a	4	5688940,830	5421303,270
M350843120	509	4	5688791,730	5421500,750
M350843140	873	4	5688715,670	5423844,190

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хск42_перетворені	Уск42_перетворені
М350843160	16417	4	5689117,290	5422456,940
М350843180	11175	4	5691362,590	5421163,740
М350843630	Рр12	4	5687980,780	5422003,350
М350843250	Дачі	4	5687475,050	5423024,140
М350843290	м32	4	5688305,970	5423500,500
М350843330	м61	4	5689602,690	5423422,550
М350843230	16687	4	5688995,680	5422385,150

Трансформаційне поле в межах території м. Вараш передбачає трансформування координат від геодезичних В, L в системі координат СК-42 до геодезичних координат В, L в системі координат УСК-2000, проте функціонал QGIS дозволяє виконати трансформування від прямокутних координат в проекції Гаусса-Крюгера СК-42 у прямокутні координати проекції Гаусса-Крюгера УСК-2000, з використанням трансформаційного поля NTv2.

Під час виконання трансформування збережена послідовність дій, описана при перетворенні координат із МСК м. Вараш в СК-42 (5 зона). Цільовою системою координат обрано датум трансформаційного поля NTv2 (рис. 3.6).

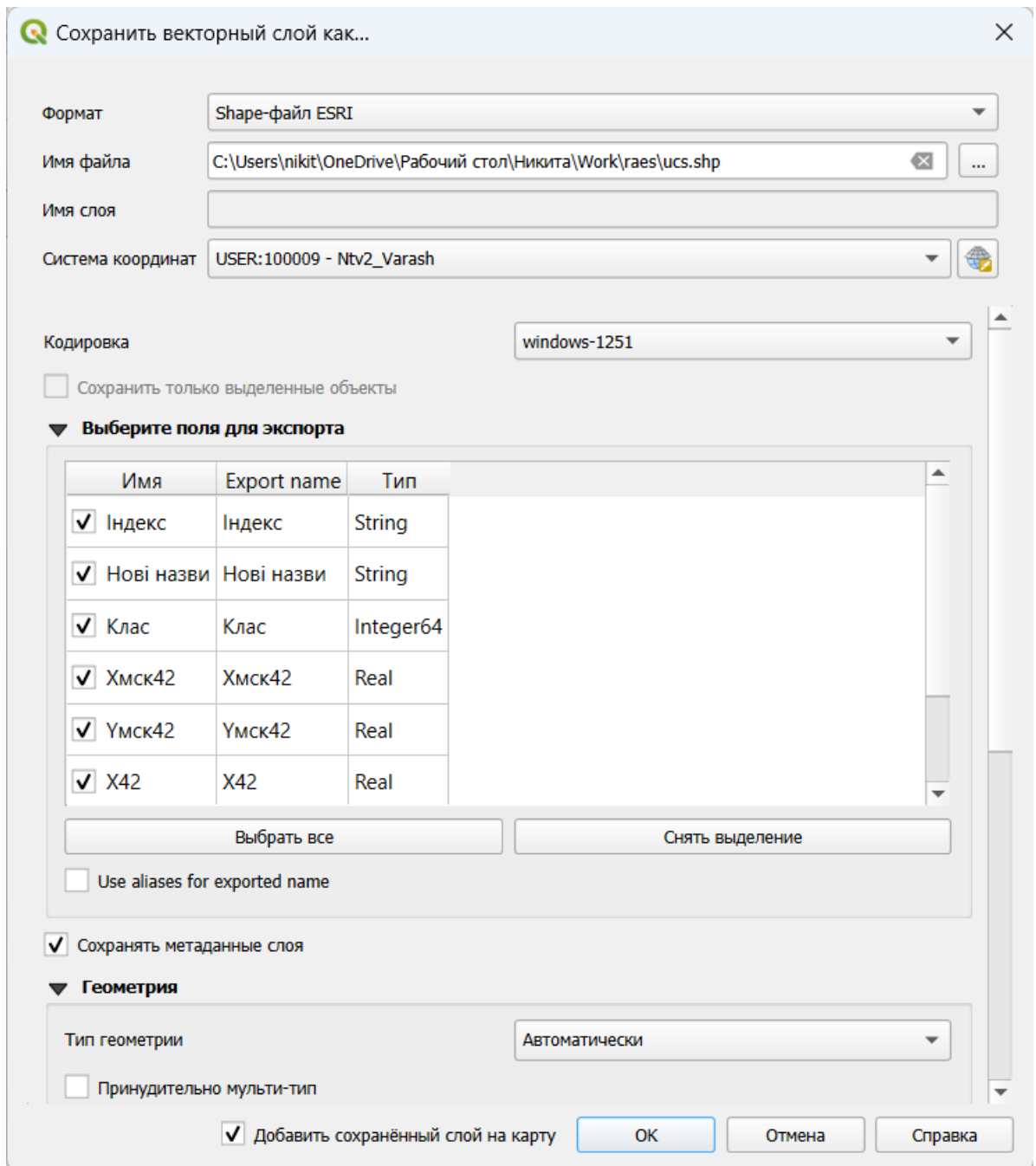


Рис. 3.6 Трансформування координат від СК-42 (5 зона) до УСК-2000

Після того, як було натиснуто «ОК», відкрилося вікно вибору параметрів переходу. Натиснуто «Відміна» (рис. 3.7).

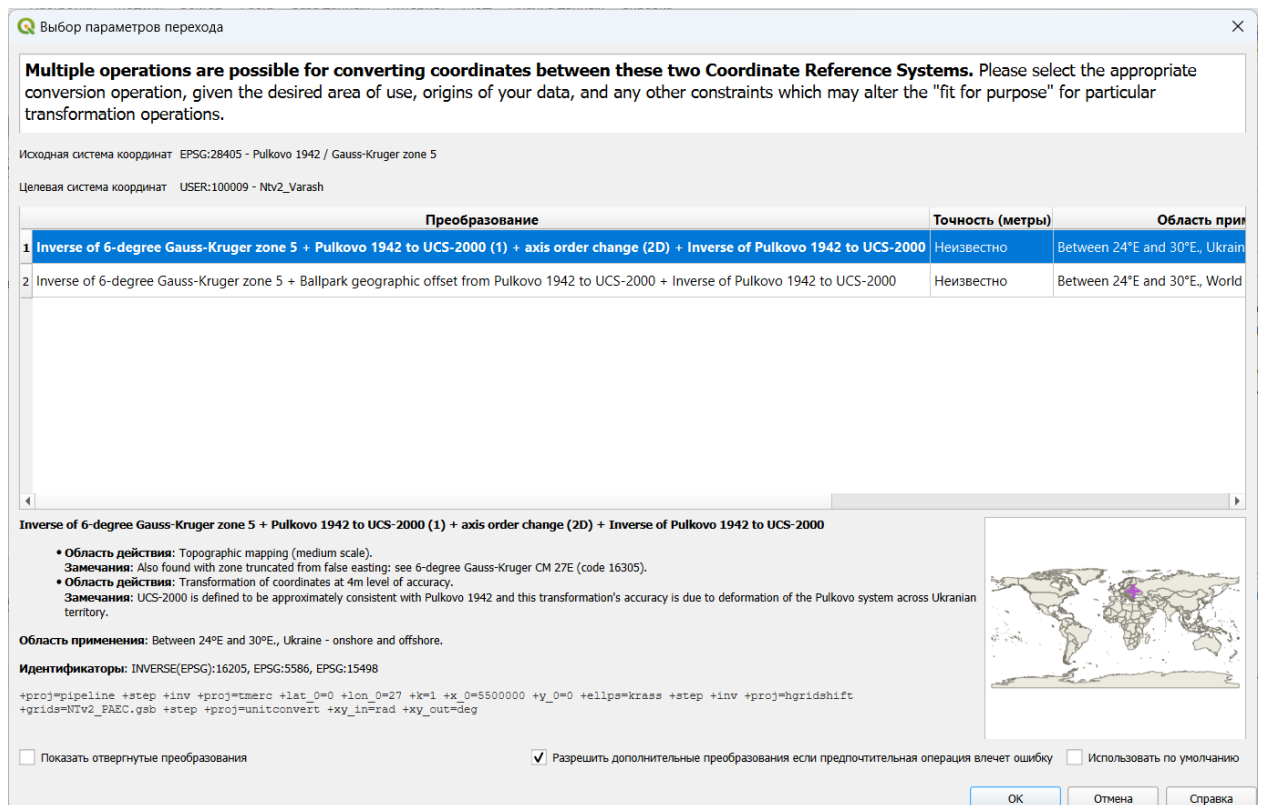


Рис. 3.7 Вікно вибору параметрів

При додаванні новоствореного шару в список шарів проекту, біля нього з'явилася іконка знаку запитання (рис. 3.8). Натиснувши на цю іконку, відкрилося вікно, в якому потрібно було задати СК шару – UCS-2000 (EPSG:5561) (рис. 3.9).

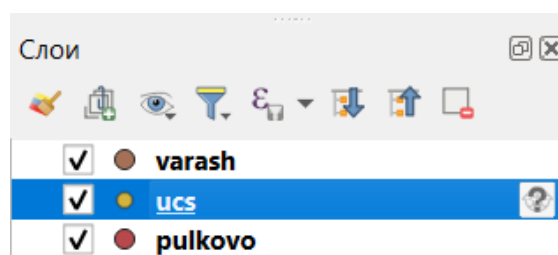


Рис. 3.8 Запит на задання СК

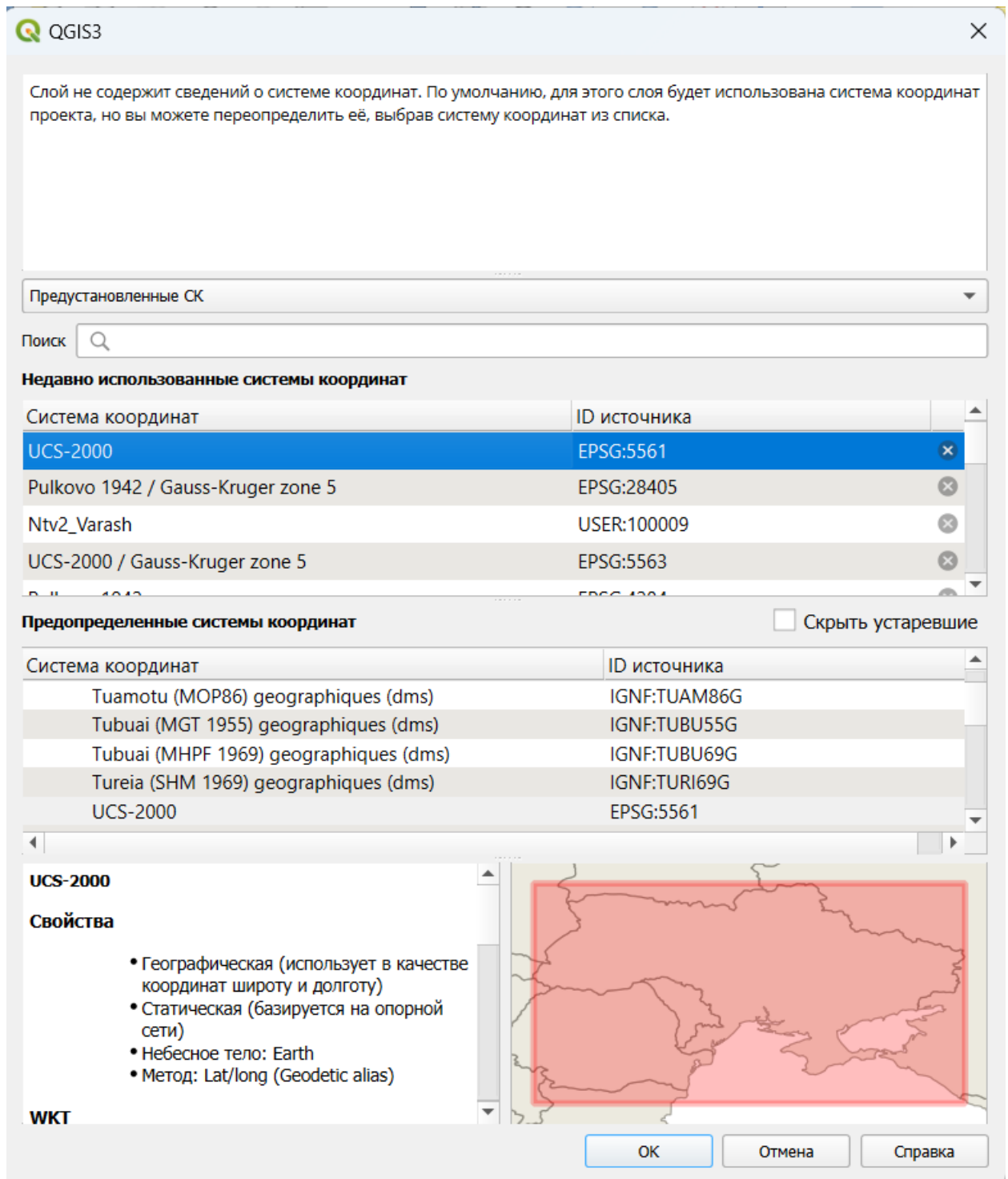


Рис. 3.9 Вікно задання СК

Було перетворено геодезичні координати УСК-2000 в плоскі прямокутні (УСК-2000 (5 зона)) та порівняно їх з контрольними (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Результати порівняння контрольних значень координат в УСК-2000 (5 зона) та трансформованих

Індекс	Нові назви	Клас пункту	X2000	Y2000	X2000_трансформовані	Y2000_трансформовані	dX	dY
M350821600	Вараш	2	5 689 71X,XXX	5 421 04X,XXX	568971X,XXX	542104X,XXX	-0,005	-0,005
M350238000	Дорожній	3	5 693 02X,XXX	5 423 08X,XXX	569302X,XXX	542308X,XXX	0,001	0,005
M350242010	80	4	5 690 757,385	5 420 669,717	5690757,38	5420669,728	-0,005	0,011
M350241020	99	4	5 693 724,431	5 421 845,551	5693724,431	5421845,557	0,000	0,006
M350241060	132	4	5 692 490,474	5 419 430,635	5692490,476	5419430,631	0,002	-0,004
M350241090	139	4	5 691 404,266	5 419 562,961	5691404,226	5419562,942	-0,040	-0,019
M350242030	195	4	5 690 509,150	5 423 193,217	5690509,142	5423193,23	-0,008	0,013
M350842130	6	4	5 688 978,597	5 421 018,631	5688978,602	5421018,621	0,005	-0,010
M350842150	м30	4	5 688 057,586	5 423 279,195	5688057,581	5423279,203	-0,005	0,008
M350842170	539	4	5 687 717,134	5 424 888,138	5687717,13	5424888,142	-0,004	0,004
M350843640	74	4	5 691 047,741	5 420 191,899	5691047,743	5420191,892	0,002	-0,007
M350843020	151	4	5 692 114,488	5 420 659,998	5692114,49	5420660,002	0,002	0,004
M350843040	211	4	5 688 281,035	5 424 860,976	5688281,003	5424861,079	-0,032	0,103

Індекс	Нові назви	Клас пункту	X2000	Y2000	X2000_трансформовані	Y2000_трансформовані	dX	dY
M350843060	500	4	5 688 597,804	5 422 175,032	5688597,805	5422175,024	0,001	-0,008
M350843080	502	4	5 688 969,780	5 421 662,261	5688969,777	5421662,265	-0,003	0,004
M350843110	508a	4	5 688 939,354	5 421 301,458	5688939,361	5421301,467	0,007	0,009
M350843120	509	4	5 688 790,243	5 421 498,951	5688790,242	5421498,954	-0,001	0,003
M350843140	873	4	5 688 714,356	5 423 842,547	5688714,337	5423842,552	-0,019	0,005
M350843160	16417	4	5 689 115,821	5 422 455,126	5689115,822	5422455,136	0,001	0,010
M350843180	11175	4	5 691 361,294	5 421 161,956	5691361,299	5421161,969	0,005	0,013
M350843630	Rp12	4	5 687 979,295	5 422 001,531	5687979,298	5422001,537	0,003	0,006
M350843250	Дачі	4	5 687 473,599	5 423 022,511	5687473,615	5423022,501	0,016	-0,010
M350843290	м32	4	5 688 304,644	5 423 498,805	5688304,641	5423498,804	-0,003	-0,001
M350843330	м61	4	5 689 601,423	5 423 420,822	5689601,422	5423420,83	-0,001	0,008
M350843230	16687	4	5 688 994,206	5 422 383,361	5688994,21	5422383,36	0,004	-0,001

Перетворення координат точок із УСК-2000 до МСК-56

Вихідні дані представлені нижче (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Трансформовані координати в УСК-2000 (5 зона)

Індекс	Нові назви	Клас пункту	X2000_трансформовані	Y2000_трансформовані
M350821600	Вараш	2	568971X,XXX	542104X,XXX
M350238000	Дорожній	3	569302X,XXX	542308X,XXX
M350242010	80	4	5690757,38	5420669,728
M350241020	99	4	5693724,431	5421845,557
M350241060	132	4	5692490,476	5419430,631
M350241090	139	4	5691404,226	5419562,942
M350242030	195	4	5690509,142	5423193,23
M350842130	6	4	5688978,602	5421018,621
M350842150	м30	4	5688057,581	5423279,203
M350842170	539	4	5687717,13	5424888,142
M350843640	74	4	5691047,743	5420191,892
M350843020	151	4	5692114,49	5420660,002
M350843040	211	4	5688281,003	5424861,079
M350843060	500	4	5688597,805	5422175,024
M350843080	502	4	5688969,777	5421662,265
M350843110	508a	4	5688939,361	5421301,467
M350843120	509	4	5688790,242	5421498,954
M350843140	873	4	5688714,337	5423842,552

Індекс	Нові назви	Клас пункту	X2000_трансформовані	Y2000_трансформовані
M350843160	16417	4	5689115,822	5422455,136
M350843180	11175	4	5691361,299	5421161,969
M350843630	Rp12	4	5687979,298	5422001,537
M350843250	Дачі	4	5687473,615	5423022,501
M350843290	м32	4	5688304,641	5423498,804
M350843330	м61	4	5689601,422	5423420,83
M350843230	16687	4	5688994,21	5422383,36

При виконанні перетворення збережена послідовність дій, описана при перетворенні координат із МСК м. Вараш в СК-42 (5 зона). Цільовою системою координат було обрано UCS-2000 / LCS-56 Rivne (EPSG:9855) (рис. 3.10).

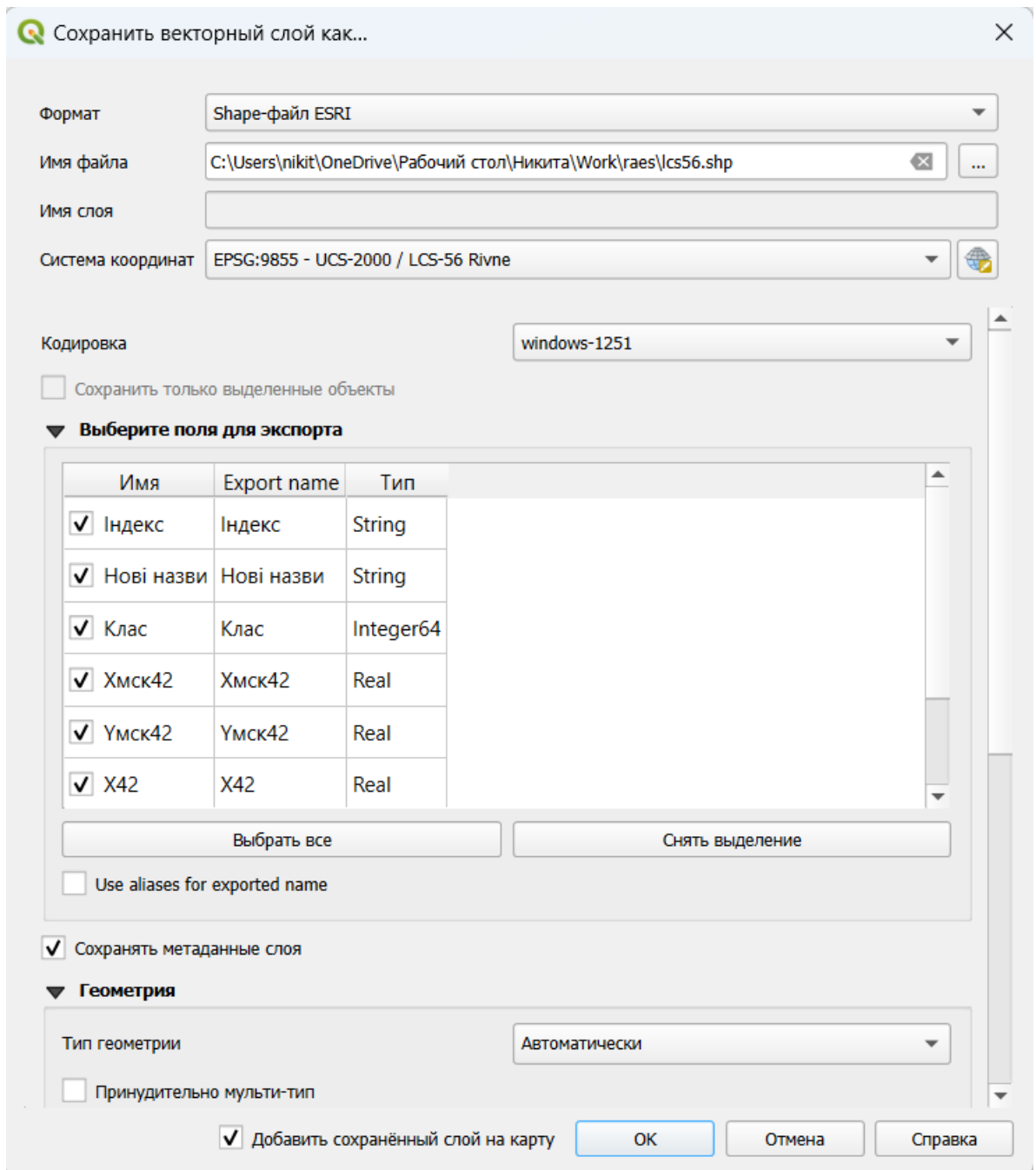


Рис. 3.10 Перетворення координат із УСК-2000 в МСК-56 (УСК-2000)

3.3 Оцінка точності результатів трансформації

В результаті виконання попереднього пункту, було отримано кінцеві значення координат точок в МСК-56. Результати порівняння цих координат з контрольними наведено у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7

Результати порівняння контрольних координат в МСК-56 (УСК-2000) та перетворених

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хмск56	Үмск56	Хмск56_перетворені	Үмск56_перетворені	dX	dY	СКП
M350821600	Вараш	2	5 689 71X,XXX	221 04X,XXX	568971X,XXX	22104X,XXXX	-0,005	-0,005	0,000
M350238000	Дорожній	3	5 693 02X,XXX	223 08X,XXX	569302X,XXX	22308X,XXXX	0,001	0,005	0,000
M350242010	80	4	5 690 757,385	220 669,717	5690757,38	220669,7282	-0,005	0,011	0,000
M350241020	99	4	5 693 724,431	221 845,551	5693724,431	221845,5566	0,000	0,006	0,000
M350241060	132	4	5 692 490,474	219 430,635	5692490,476	219430,6313	0,002	-0,004	0,000
M350241090	139	4	5 691 404,266	219 562,961	5691404,226	219562,9419	-0,040	-0,019	0,002
M350242030	195	4	5 690 509,150	223 193,217	5690509,142	223193,2295	-0,008	0,013	0,000
M350842130	6	4	5 688 978,597	221 018,631	5688978,602	221018,621	0,005	-0,010	0,000
M350842150	м30	4	5 688 057,586	223 279,195	5688057,581	223279,2034	-0,005	0,008	0,000
M350842170	539	4	5 687 717,134	224 888,138	5687717,13	224888,1416	-0,004	0,004	0,000
M350843640	74	4	5 691 047,741	220 191,899	5691047,743	220191,892	0,002	-0,007	0,000
M350843020	151	4	5 692 114,488	220 659,998	5692114,49	220660,002	0,002	0,004	0,000
M350843040	211	4	5 688 281,035	224 860,976	5688281,003	224861,0788	-0,032	0,103	0,010

Індекс	Нові назви	Клас пункту	Хмск56	Үмск56	Хмск56_перетворені	Үмск56_перетворені	dX	dY	СКП
M350843060	500	4	5 688 597,804	222 175,032	5688597,805	222175,0241	0,001	-0,008	0,000
M350843080	502	4	5 688 969,780	221 662,261	5688969,777	221662,2647	-0,003	0,004	0,000
M350843110	508a	4	5 688 939,354	221 301,458	5688939,361	221301,467	0,007	0,009	0,000
M350843120	509	4	5 688 790,243	221 498,951	5688790,242	221498,9543	-0,001	0,003	0,000
M350843140	873	4	5 688 714,356	223 842,547	5688714,337	223842,5521	-0,019	0,005	0,000
M350843160	16417	4	5 689 115,821	222 455,126	5689115,822	222455,1361	0,001	0,010	0,000
M350843180	11175	4	5 691 361,294	221 161,956	5691361,299	221161,9685	0,005	0,013	0,000
M350843630	Rp12	4	5 687 979,295	222 001,531	5687979,298	222001,5373	0,003	0,006	0,000
M350843250	Дачі	4	5 687 473,599	223 022,511	5687473,615	223022,5012	0,016	-0,010	0,001
M350843290	м32	4	5 688 304,644	223 498,805	5688304,641	223498,8045	-0,003	-0,001	0,000
M350843330	м61	4	5 689 601,423	223 420,822	5689601,422	223420,8301	-0,001	0,008	0,000
M350843230	16687	4	5 688 994,206	222 383,361	5688994,21	222383,3596	0,004	-0,001	0,000
Середнє арифметичне значення відхилення координат, м							-0,003	0,006	
СКП одиниці ваги, м							0,0242		

За результати дослідження встановлено, що середня квадратична похибка одиниці ваги складає 0,024 метра. Оскільки контрольні координати були отримані з точністю не гірше 0,05 метрів, можна зробити висновок, що отримані за допомогою локального трансформаційного поля NTv2 на територію м. Вараш координати є придатними для використання. Нижче представлено візуалізації різниць координат по осі абсцис (рис. 3.11) та ординат (рис. 3.12):

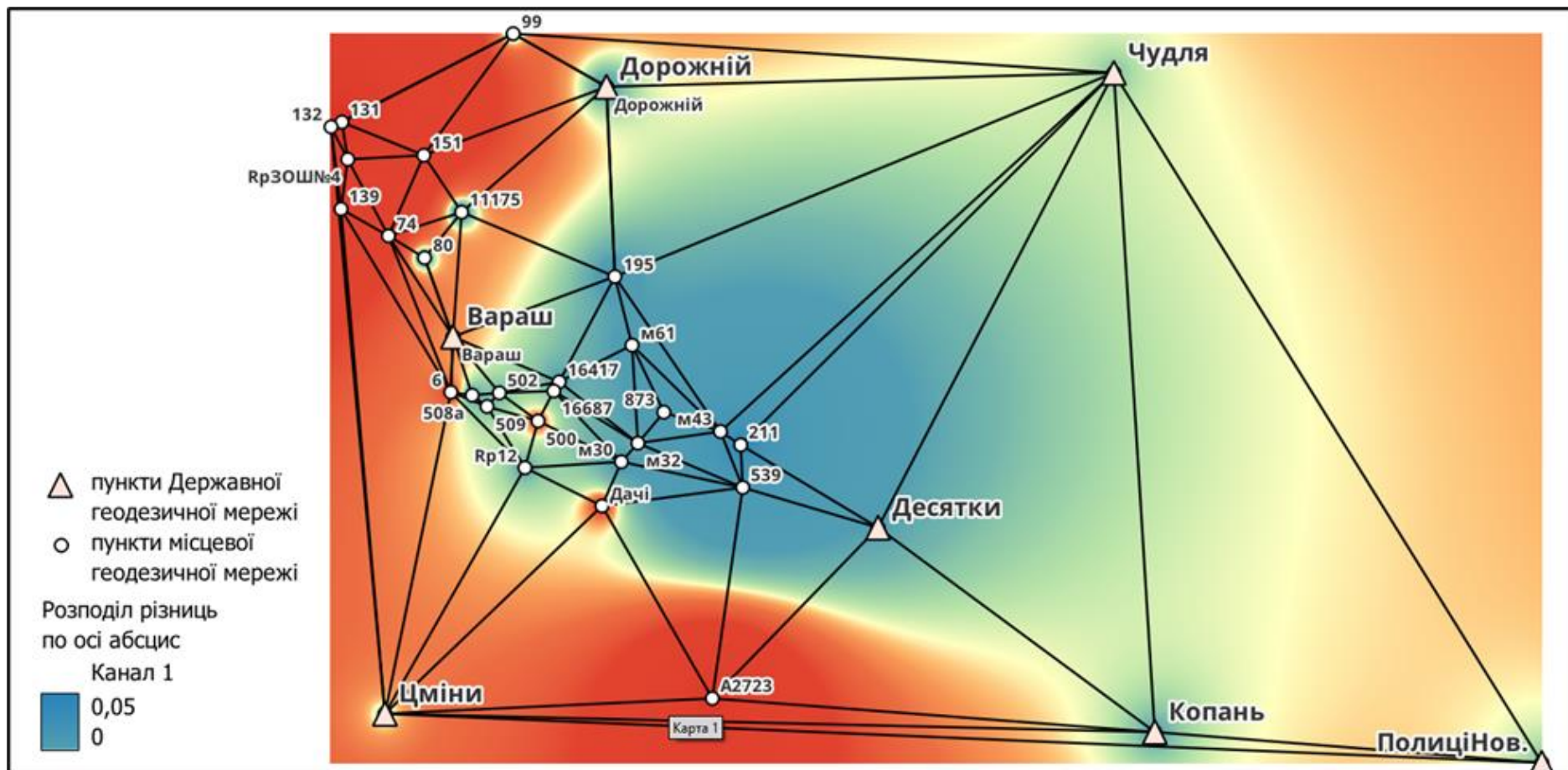


Рис. 3.11 Візуалізація розподілу різниць координат по осі абсцис (наведено у м)

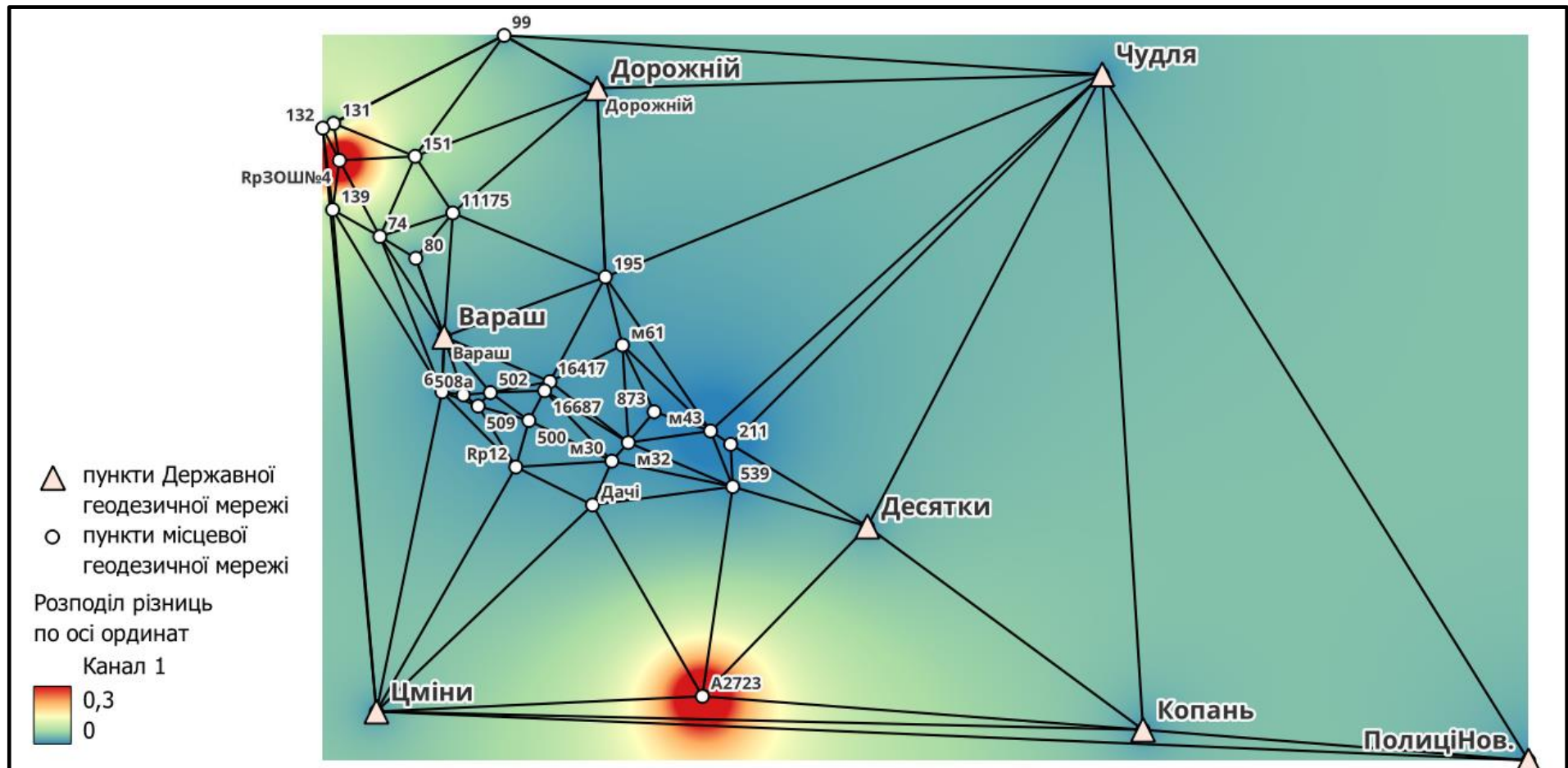


Рис. 3.12 Візуалізація розподілу різниць координат по осі ординат (наведено у м)

Висновки до розділу 3

У цьому розділі було реалізовано методику трансформування у середовищі геоінформаційної системи QGIS. В основі методики лежить використання локального трансформаційного поля у форматі NTV2. Трансформаційне поле було реалізовано засобами QGIS – описане як користувацька система координат у форматі WKT із зазначенням бінарного файлу трансформаційного поля у форматі .gsb.

Детально описано алгоритм додавання незарєстрованих систем координат, трансформаційного поля та виконання трансформації у середовищі QGIS. Кожен крок алгоритму супроводжується ілюстраціями та поясненнями.

Представлено датуми незарєстрованих систем координат та трансформаційного поля у форматі WKT. Виконано порівняльний аналіз координат, отриманих в результаті перетворень та трансформування, з еталонними.

Проведено оцінку точності трансформованих координат та доцільність використання розглянутого методу трансформування. Представлено візуалізацію розподілу різниць координат за осями абсцис та ординат.

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі вирішено такі задачі:

1) Обґрунтовано необхідність трансформування координат з архівних у діючу систему координат. Відмінність у прив'язках до систем відліку між архівними системами координат та УСК-2000 впроваджує спотворення та унеможлиблює прямий перехід між ними;

2) Проаналізовано нормативно-технічне і нормативно-правове забезпечення щодо використання системи координат УСК-2000. Було розглянуто 8 актів, що регламентують використання вищезгаданої системи координат. Зокрема, в цих актах зазначено, що виконання топографо-геодезичних, топографічних та робіт із землеустрою здійснюється з застосуванням Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000. Держателі зазначених матеріалів зобов'язані використовувати УСК-2000 у своїй професійній сфері задля забезпечення інтеоперабельності даних;

3) Описано методику трансформування координат за допомогою GRID моделі у форматі NTv2 з МСК (Вараш-42) в МСК-56: перетворення координат із МСК м. Вараш, утвореної від СК-42 до СК-42 (за 4 параметрами Гельмерта, трансформування координат точок за локальним трансформаційним полем від СК-42 до УСК-2000, перетворення координат точок із УСК-2000 до МСК-56 (задача із зони в зону);

4) Реалізовано методику трансформування у середовищі геоінформаційної системи QGIS. В основі методики лежить використання локального трансформаційного поля у форматі NTv2. Трансформаційне поле було реалізовано засобами QGIS – описане як користувачька система координат у форматі WKT з зазначенням бінарного файлу трансформаційного поля у форматі .gsb.

5) Виконано оцінку точності отриманих результатів трансформування. За результати дослідження встановлено, що середня квадратична похибка одиниці ваги складає 0,024 метра. Оскільки контрольні координати були отримані з точністю не гірше 0,05 метрів, можна зробити висновок, що отримані за допомогою локального трансформаційного поля NTv2 на територію м. Вараш координати є придатними для використання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України від 23 грудня 1998 року № 353-XIV «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»
2. Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних»
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 липня 1999 року № 1344 «Положення про порядок надходження, зберігання, використання та обліку матеріалів Державного картографо-геодезичного фонду України»
4. Постанова Кабінету Міністрів України № 1259 від 22 вересня 2004 року «Деякі питання застосування геодезичної системи координат»
5. Постанова Кабінету Міністрів України від 07 серпня 2013 року № 646 «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»
6. Постанова Кабінету Міністрів України від 04 вересня 2013 року № 661 «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування»
7. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532 «Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних»
8. Наказ Мінагрополітики, № 509 від 02.12.2016 року «Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референтної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою»
9. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 10 листопада 2021 року №347 «Про затвердження технічних вимог до геопросторових даних, метаданих і геоінформаційних сервісів національної інфраструктури геопросторових даних»
10. С.І. Бурковський, І.В. Московченко, Д.Ю. Свистунов, А.В. Сінчук, Л.В. Польшина (2021). ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КООРДИНАТ СК-63 У

СПЕЦІАЛЬНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ «ВІРАЖ». *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, 4(70). URL: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/zhups/article/view/761/657>

11. Карпінський, Ю., Кучер, О., & Заєць, І. (2013). ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ТА ПОБУДОВА ТРАНСФОРМАЦІЙНОГО ПОЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТ МІЖ СИСТЕМАМИ СК-42 ТА УСК2000. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. Вип. 78, с. 169 – 172. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/may/1530/gka78201328.pdf>

12. Карпінський Ю., Грачов О. (2001). Трансформування растрових моделей цифрових карт і планів. *Вісник геодезії та картографії*, № 3, С. 65-73

13. Карпінський Ю.О., Грачов, О. Г. Класифікація методів інтерполяції та апроксимації функцій трансформації растрових зображень [Текст] / О. Г. Грачов // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Вид-во Нац. Ун-ту «Львівська політехніка», 2005. – С. 22-25*

14. Карпінський, Ю. О., & Нудельман, В. І. (2018). Використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 у середовищі Arcgis ESRI. *Містобудування та територіальне планування*, (68), 725-733. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2018_68_86

15. Карпінський Ю.О. Афіне трансформування координат методом скінченних елементів. *Вісник геодезії та картографії*. 2002. №4 (27). С. 23-27.

16. Мельник В. М. Інтерполяція поправок трансформації координатних систем / В. М. Мельник, В. Л. Расюн // *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. – 2014. – Вип. 4. – С. 320-328. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vnuvgp_tekhn_2014_4_40*

17. Зуска, А., Трегуб, Ю., & Янкін, О. (2023). Аналіз впливу перетворення координат поворотних точок земельних ділянок із системи СК-63 в УСК-2000 на їх лінійні параметри та площу. *Просторовий розвиток*, (3), 108–121. DOI: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.3.108-121>

18. Кубах, С. М., & Черняга, П. Г. (2011). Використання референціальних систем координат при виконанні кадастрових робіт. *Вісник геодезії та картографії*, (3), 36-41. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vgtk_2011_3_10
19. Karpinskyi Yu., & Kin D. (2020, April). Research of the transition from cartometric to analytical operations. XXV Jubilee International Scientific and Technical Conference «Geoforum – 2020», Lviv, Ukraine. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34353.40806>.
20. Fazilova, D. (2022). Uzbekistan's coordinate system transformation from CS42 to WGS84 using distortion GRID model. *Geodesy and Geodynamics*, 13(1), 24-30. DOI: 10.1016/j.geog.2021.10.001
21. Garnero, G. (2014). Use of NTV2 transformation grids in engineering applications. *Earth Science Informatics*, 7(2), 139-145. DOI: 10.1007/s12145-013-0135-1
22. González-Matesanz, J., Dalda, A., Quirós, R., & Celada, J. (2003, June). ED50-ETRS89 transition models for the Spanish geodetic network. In *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Toledo* (pp. 4-7). URL: <http://www.euref.eu/symposia/book2003/4-6.pdf>
23. Oliveria, L. C., Santos, M. C., Nievinski, F. G., Leandro, R. F., Costa, S. M., Santos, M. F., ... & Maia, T. B. (2009). Searching for the optimal relationships between SIRGAS2000, South American Datum of 1969 and Córrego Alegre in Brazil. In *Observing our Changing Earth* (pp. 71-79). Springer Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-540-85426-5_9
24. Turner, J., Preston, C., Winthrop, R., Thatcher, I., Swales, P., & Finney, J. (2021). Advances in engineering survey grid transformations for rail infrastructure. In *High Speed Two (HS2): Infrastructure Design and Construction (Volume 1)* (pp. 461-471). ICE Publishing. URL: <https://learninglegacy.hs2.org.uk/document/advances-in-engineering-survey-grid-transformations-for-rail-infrastructure/>
25. Weber, V., Navratil, G., & Blauensteiner, F. (2022). Managing Inhomogeneity in the Control Point Network during Staking Out Cadastral Boundaries

in Austria. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), 274. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi11050274>

26. Yun, S., Lee, H., & Song, J. (2020). Studies on derivation of appropriate geodetic system transformation schemes for spatial data. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 38(6), 561-571. DOI: <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2020.38.6.561>

27. Habib, M. (2023). Grid-on-Grid Transformation for Integrating Spatial Reference System of Multi-source Data. In: Feng, G. (eds) *Proceedings of the 9th International Conference on Civil Engineering*. ICCE 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 327. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-2532-2_53

ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ