

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет природокористування  
Факультет землевпорядкування та туризму  
Кафедра геодезії і геоінформатики

***Кваліфікаційна (дипломна) робота***  
освітнього ступеня «Магістр»  
на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ТРАНСФОРМУВАННЯ ДАНИХ  
РЕФЕРЕНЦНИХ СИСТЕМ КООРДИНАТ»**

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Виконав: студент групи ЗВ-63

**Рудий О. С.**

Науковий керівник: к.е.н., доцент

**Рижок З. Р.**

Рецензент \_\_\_\_\_

**Львів 2024**





УДК 528.236

Дослідження методики трансформування даних референцних систем координат. Рудий О. С. Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. Львів, Львівський національний університет природокористування, 2024 р.

61 с. текстової частини, 2 таблиці, 14 рисунків, 31 джерело бібліографічного списку.

У кваліфікаційній (дипломній) роботі розкрито теоретичні засади дослідження параметрів референцних систем координат, представлено методичні засади трансформування та перетворення референцних координат, а також відображено результат застосування програмного забезпечення ArcGIS, QGIS та DigitalS для трансформування референцних систем координат СК-63, УСК-2000 та WGS-84.

**ЗМІСТ**

ВСТУП	6
1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕФЕРЕНЦНИХ СИСТЕМ КООРДИНАТ	8
1.1. Дослідження терміну та параметрів референцних систем координат	8
1.2. Класифікація референцних систем координат	14
1.3. Методичні засади перетворення та трансформування координат	20
2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ТРАНСФОРМУВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ РЕФЕРЕНЦНИХ КООРДИНАТ	23
2.1. Методика переходу від однієї системи координат до іншої	23
2.2. Способи трансформування референцних систем координат	26
2.3. Способи перетворення референцних координат в Україні	29
3. ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТРАНСФОРМУВАННЯ РЕФЕРЕНЦНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ	31
3.1. Трансформування референцної системи координат УСК-2000 у середовищі ArcGIS	31
3.2. Трансформування референцної системи координат УСК-2000 у середовищі QGIS	37
3.3. Трансформування референцної системи координат УСК-2000 у середовищі Digitals	42
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	50
5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	53
ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

## ВСТУП

Щоб визначити положення будь-якого об'єкта в просторі, необхідно задати систему координат, у якій положення об'єкта може бути однозначно описано певним набором чисел. Система координат зазвичай визначається положенням її центру, координатних осей, що представляють собою числові значення, які описують положення об'єкта.

Небесні системи координат визначаються у залежності від поставленого завдання. Однак, по суті всі небесні системи координат, що використовуються в астрономії з найдавніших часів до наших днів, є сферичними полярними системами координат. Для них центр сфери може бути там, де перебуває спостерігач – небесна система координат, центр Землі – геоцентрична система координат, центр Сонячної системи – геліоцентрична система координат, або якщо центр планет – то планетарна система координат.

В Україні всі топографо-геодезичні та картографічні роботи проводяться з використанням державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000, похідної від міжнародної земної референцної системи координат ITRS/ITRF2000.

Просторова декартова система координат, пов'язана з моделлю Землі, представляє собою Всесвітню геодезичну систему WGS-84 – World Geodetic System 1984. Вона є широко використовуваною разом із супутниковими даними, отриманими за допомогою Глобальної системи позиціонування – GPS. Координати у системі WGS 84 є визначено за допомогою супутникових доплерівських вимірювань та уточнено за допомогою більш точних супутникових, геодезичних і гравітаційних вимірювань, що мають відхилення координат на кілька сантиметрів від Міжнародної системи координат Землі, підтримуваної Міжнародною службою обертання Землі – IERS.

Для впровадження та застосування УСК-2000 у топографо-геодезичній галузі одним з основних завдань є встановлення зв'язків із місцевими системами координат, переведення картографічного матеріалу в сучасну систему

координат. Це завдання може бути вирішене разом із реконструкцією національних і місцевих геодезичних мереж.

Останніми роками використання GNSS-технологій дало змогу фактично замінити класичні геодезичні системи, як-от СК-42, на однорідну й точнішу реалізацію Міжнародної земної референцної системи координат ITRS. Крім того, розв'язання проблем, пов'язаних із побудовою складових геодезичних мереж на основі спільного опрацювання даних GNSS, класичної наземної тріангуляції, як-от перехід від місцевої системи LRS з планових координат до геоцентричної системи координат WGS-84/ITRF, є одним із найактуальніших завдань геодезії.

Сьогодні одним із головних завдань формування української координатної бази є перетворення координат у місцевій системі координат, створеній на основі СК-42 та СК-63, переведення наявного картографічного матеріалу в державну геодезичну систему координат УСК-2000, створену на основі міжнародної земної системи координат ITRS/ITRF2000, і навпаки.

Державна геодезична референцна система координат УСК-2000 залучає просторову прямокутну систему координат  $X, Y, Z$ , геодезичну (еліпсоїдальну) систему координат  $B, L, H$ , прямокутну систему координат на площині  $X, Y$  в проекції Гаусса-Крюгера в 6-ти для СК-42 та 3-ох градусних для СК-63 зонах і 27-ми місцевих систем координат.

Виконання топографо-геодезичних, картографічних робіт в державній геодезичній референцній системі координат УСК-2000 призвело до розв'язання не простих задач. Проблема переходу від різних геодезичних систем координат в УСК-2000 виникла через наявність багатьох систем координат на території України протягом тривалого часу.

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕФЕРЕНЦНИХ СИСТЕМ КООРДИНАТ

## 1.1. Дослідження терміну та параметрів референцних систем координат

Зазвичай у літературі використовують такі поняття, як системи координат – Coordinate Systems та референцні системи – Reference Systems. Саме поняття “референцна система” має два аспекти, коли референцна система – reference system включає в себе фундаментальну теорію і стандарти (RS) та референцна система (reference frame) відображає її практичну реалізацію через спостереження, скінченну сукупність пунктів (RF).

З 1991 р. Міжнародною астрономічною спілкою визначено нову небесну систему координат – International Celestial Reference System (ICRS).

Її опорними об’єктами стали проєкції 212 точкових поза галактичних джерел, що спостерігалися методами радіо інтерферометрії з наддовгими базами (VLBI).

Нова небесна система за відомими положеннями радіоджерел отримала назву – International Celestial Reference Frame (ICRF). Через не рівномірність обертання Землі виникають не передбачені нерегулярні повороти земної системи відліку щодо небесної системи [14].

До референцних систем координат належать:

- ITRF – реалізація (глобальна) за умови комбінування різних технологій (VLBI, SLR, DORIS, GNSS);
- IGS – реалізація (глобальна), зокрема лише GNSS;
- ETRF – реалізація (фіксація тектонічної плити) за умови наявності відношення до ITRF/IGS;
- УСК-2000 – реалізація при відношенні до ITRF2000.

За земну систему координат було рекомендовано прийняти прямокутну декартову систему, початок якої знаходиться в центрі мас Землі, включно з її



атмосферою, а одна із осей –  $Z$  співпадає з полярною віссю інерції Землі. Осі  $X$  та  $Y$  повинні бути пов'язаними з деяким твердим тілом, яке апроксимує реальну Землю. По аналогії з ICRS загально земну систему назвали ITRS – International Terrestrial Reference System. Земну референцну систему відображено на рис. 1.1.

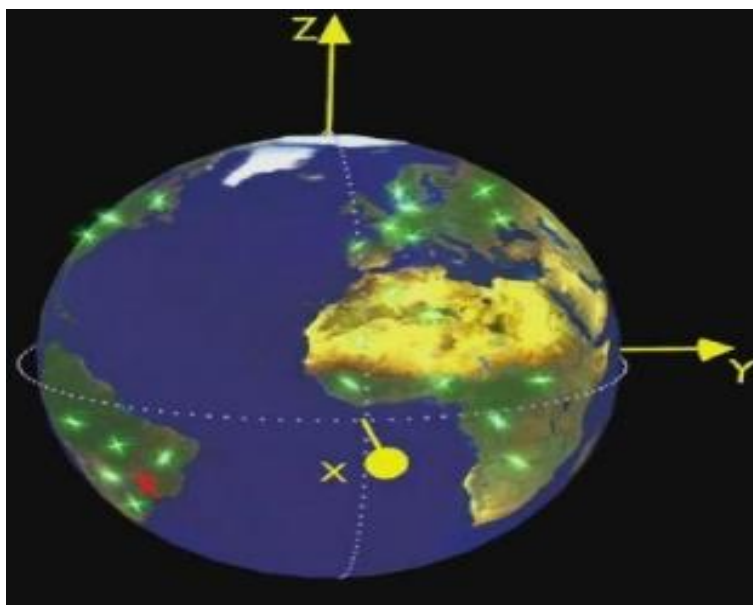


Рис. 1.1. – Земна референцна система координат.

Міжнародна Служба Обертання Землі IERS – International Earth Rotation Service була організованою спільно з Міжнародним астрономічним союзом IAU – International Astronomical Union, Міжнародним Союзом Геодезії і Геофізики IUGG – International Union of Geodesy and Geophysics. Головним завданням IERS є забезпечення параметрами орієнтації Землі – EOP, реалізація міжнародних референцних астрономічних, а також земних систем координат.

Службою IERS, за допомогою сучасних високо точних вимірювальних технологій VLBI, LLR, SLR і GPS, з високою точністю встановлені системи геодезичних параметрів Землі [15].

Розрізняють 2-і системи опорних мереж IERS:

- земна ITRS – International Terrestrial Reference System;
- небесна ICRS – International Celestial Reference System.

Реалізація ITRS на певну епоху називається ITRF – International Terrestrial Reference Frame. Відповідна система ITRF закріплює на Землі геоцентричну

гринвіцьку систему координат. Її початок встановлено з точністю до 10-ти см в центрі мас Землі, а вісь Z з точністю  $+0,03''$ , вісь X – з точністю  $0,003''$ , що є поєднаною з площиною гринвіцького меридіану.

Координати ITRF змінюються зі швидкістю 1-2 см на рік. Їх що року уточнюють та складають каталоги на відповідні епохи від ITRF88 до ITRF2000. Так, у системі ICRS за допомогою теорії прецесії та нутації полярна вісь Землі приводиться до становища на епоху J 2000 [26].

Міжнародна геодезична асоціація IAG – International Association of Geodesy створила підкомісію EUREF для встановлення європейської системи параметрів Землі ETRS – European Terrestrial Reference Frame. Встановлені класи точності положень станцій мережі для EUREF передбачають, що до класу А віднесені ті станції, середньо квадратичне помилка у кожній з 3-ох координат у системі ETRS89 не перевищує 1 см. Клас В характеризується тією ж точністю, але лише при віднесенні координат до епохи спостережень. Станції класу С повинні мати середньо квадратичне помилку положення не більше 5-ти см при умовах, що виконуються для класу А [28].

Пункти ITRS і ETRS входять до складу мережі Міжнародної GPS служби IGS – International GPS Service. Порівняння швидкостей змін координат ITRF та ETRS відображено на рис. 1.2.

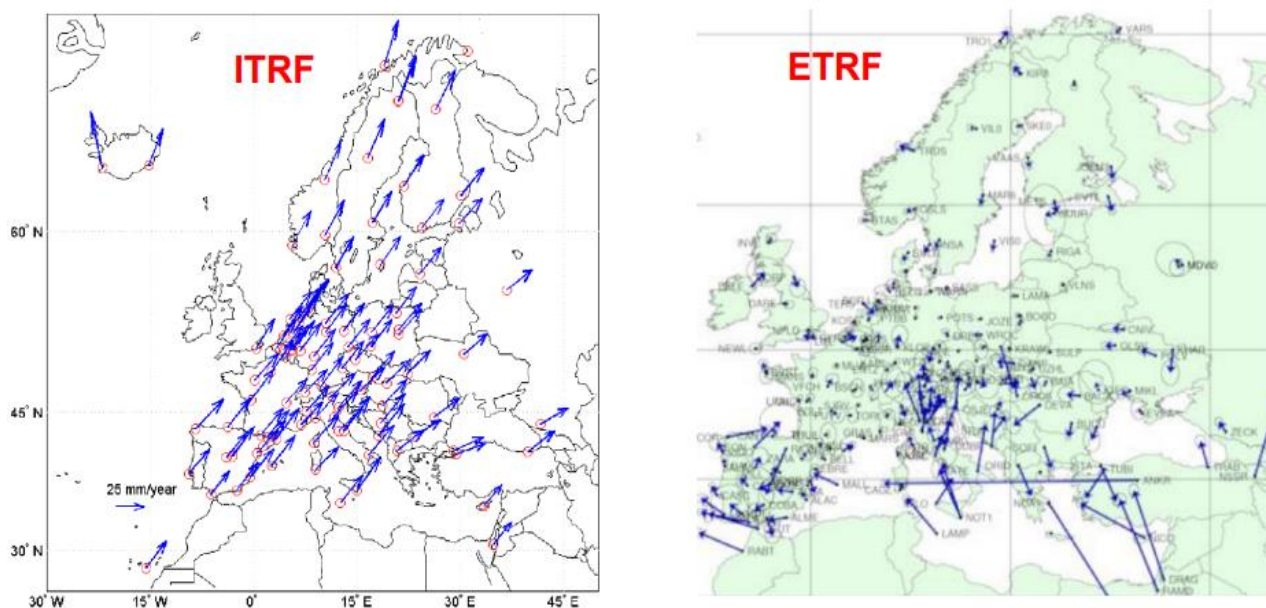


Рис. 1.2. – Порівняння швидкостей змін координат ITRF та ETRS.

Параметри референчних систем координат в геодезії наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. – Параметри референчних систем координат

Референчна система	Датум	Епоха	Тип калібрування антен	Епоха введення реалізації
ITRF	2000	1997.0	відносний	31.05. 2010
	2008	2005.0	абсолютний	
	2014	2010.0	абсолютний	22.01.2016
IGS	IGb08	2005.0	абсолютний	07.10.2012
ETRF	2000	1989.0	відносний	
	2000 (R05)	2000.0	абсолютний	
	2000 (R08)	2005.0	абсолютний	
УСК	2000	2005.0	-	01.01.2007

Референчні системи координат визначають методом GNSS спостережень (рис. 1.3.), де TRF в контексті GNSS і супутникової геодезії має:

- початок – Origin;
- центр мас системи Земля, так званий «геоцентр»;
- масштаб – Scale;
- орієнтація осей – Orientation;
- екваторіальна вісь-Z, що проходить в напрямі полюса Землі [27].

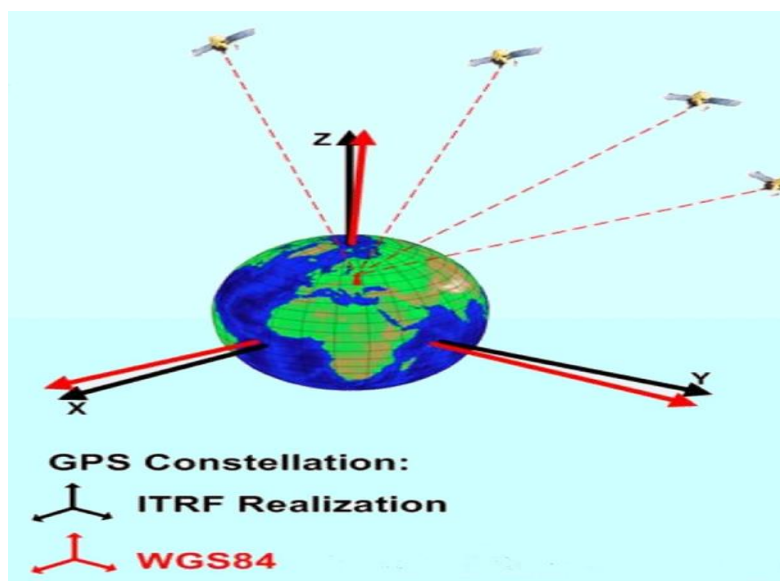


Рис. 1.3. – Спосіб визначення референчних систем координат за допомогою методу GNSS спостережень.

У геодезії прийнято використовувати таке поняття, як вихідні геодезичні дати – datum.

Вихідні геодезичні дати у класичному розумінні – це визначені, чи встановлені геодезичні координати для початкового пункту геодезичної мережі, довжина лінії до одного із суміжних пунктів, а також її геодезичний азимут.

У сучасному розумінні – це набір параметрів, які визначають положення відлікового еліпсоїда відносно центра мас Землі, або ще, як набір параметрів, що визначають систему координат. Повний набір параметрів включає в себе дев'ять величин, а саме 3-и, що визначають положення початку системи, 3-и, що визначають орієнтацію системи та 1-у, що задає масштаб системи, а також 2-і, що визначають розміри та форму еліпсоїда [25].

На рис. 1.4. відображено структурну схему референцних систем координат.

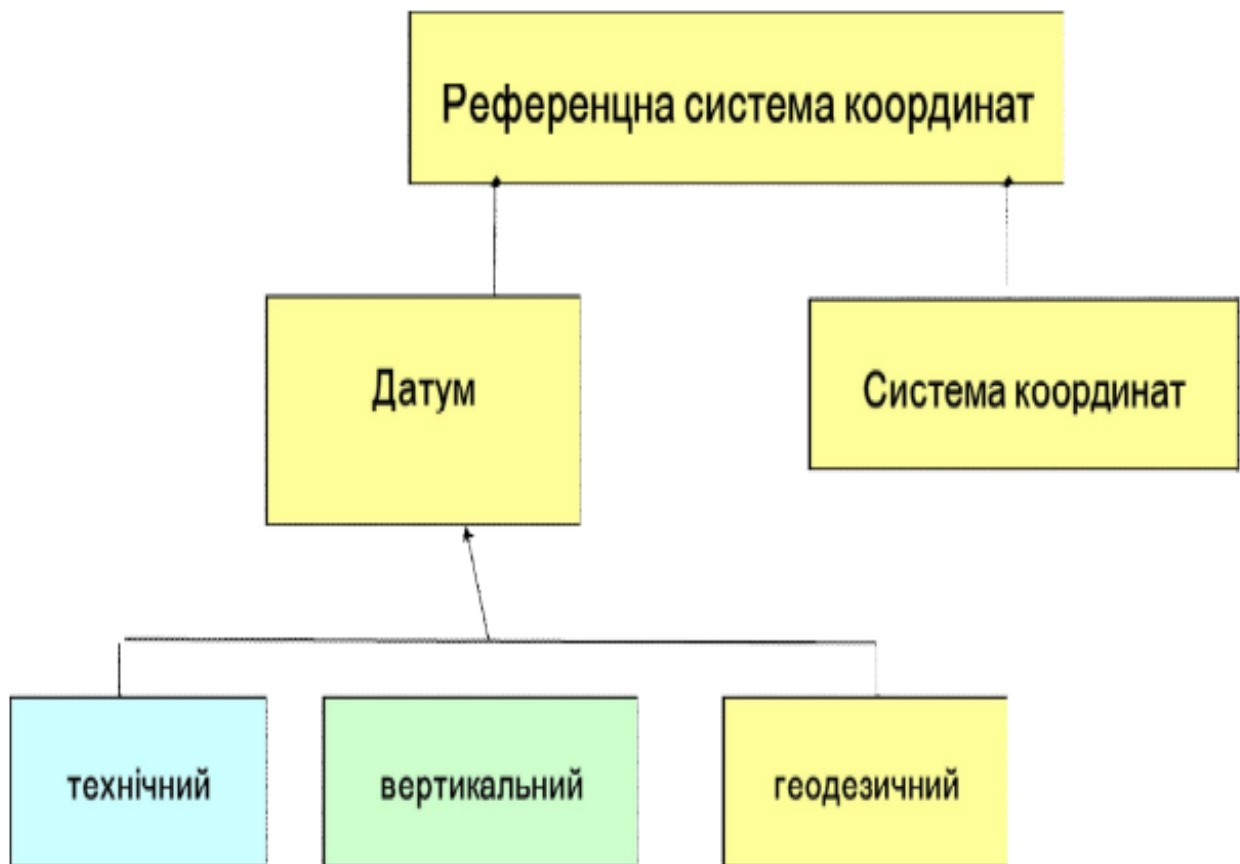


Рис. 1.4. – Структурна схема референцних систем координат.

Для опису датума використовують такі його характеристики, як:

- ідентифікатор;
- альтернативна назва;
- тип;
- вихідний пункт;
- епоха реалізації;
- область дії;
- сфера використання.

Якщо датум геодезичного типу, то тоді для його повного опису обов'язковими атрибутами ще є відомості про:

- початковий меридіан;
- еліпсоїд.

У той же час основними характеристиками для початкового меридіану є ідентифікатор, що становить Грінвічський меридіан.

Основними характеристиками еліпсоїда є:

- ідентифікатор,
- альтернативна назва,
- довжина великої півосі,
- обернена величина стиснення

Основні вимоги до референцних систем координат передбачають, що:

- не обхідні 2-і фундаментальні системи координат, коли одна з них має бути інерційна, що могла би бути зреалізована з точністю  $10^{-9}$  в радіанній мірі, а друга земна, визначена з точністю  $\leq 1$  см;

- обертання Землі в цілому повинно бути представлено чіткими параметрами трансформування від земної до інерційної системи, а саме за допомогою параметрів орієнтації Землі;

- початком земної системи має бути центр мас Землі;

- реалізація земної системи повинна бути мало чутливою до змін в розподілі станцій спостережень, чи в частоті спостережень з окремих станцій [15].

## 1.2. Класифікація референцних систем координат

Загалом, система відліку, відносно якої розглядають рух тіла, утворюється просторовою системою координат, тілом відліку, з яким вона пов'язана, його станом, а також приладами для вимірювання часу, а саме годинниками.

Як система відліку, в геодезії використовують термін референцної системи, що являє собою сукупність одно значно встановлених параметрів, які описують стан Землі, у тому числі її моделі у тій чи іншій формі, початок відліку, систему координат, час.

Суть земної референцної системи полягає в тому, що вона однозначно визначає співвідношення, що встановлюються на Землі за допомогою датуму – параметрів Землі на задану епоху, системи координат для пунктів геодезичної мережі. Тому геодезична референцна система включає в себе датум, систему координат.

Датум, або геодезичні дати – це стан земної референцної системи на задану епоху.

Водночас система координат – це спосіб визначення місце положень точок простору за допомогою чисел, або інших символів, опираючись на систему відліку, датум [26].

Кількість чисел, не обхідних для однозначного визначення положення будь-якої точки простору, визначає його вимірність. Сукупність чисел, що визначають положення для конкретної точки, називається координатами цієї точки. Обов'язковим елементом для визначення системи координат є початок координат – це точка, від якої ведеться відлік відстаней, або кутів.

Системи координат, що використовують в геодезії, класифікують за наступними ознаками (рис. 1.5) за:

1) вимірністю:

- дво вимірні – поверхневі;

- три вимірні – просторові;

2) походженням:

- природні – фізичні, небесні, зоряні;
- модельні – пов’язані з тією, чи іншою моделлю Землі;
- 3) положенням початку відліку:
  - плането центричні – геоцентричні, де центр мас Землі;
  - об’єкто центричні – топоцентричні, де точка на поверхні Землі;
- 4) основною відліковою координатною площиною:
  - екваторіальні – площина екватора;
  - горизонтні – площина земного горизонту;
- 5) одиницями міри:
  - лінійні – прямолінійні прямокутні;
  - кутові – полярні [28].



Рис. 1.5. – Класифікація систем координат.

Референцні системи координат за ідентифікацією класифікують на:

- прямокутні прямолінійні;
- еліпсоїдні, або сферичні.

за кількістю осей на:

- три вимірні – 3-D,
- дво вимірні – 2-D,
- одно вимірні – 1-D.

за основними координатними площинами:

- екваторіальні;
- горизонтальні.

Прямокутна система координат за основну площину  $XOY$  має площину земного екватора. Основна координатна вісь  $OX$  є спрямованою в певну точку. Ось  $OY$  є розташованою в площині земного екватора під кутом  $90^\circ$  на схід від прийнятого початкового меридіана. Вісь  $OZ$  є поєднаною з північним напрямком осі обертання Землі.

Еліпсоїдальні (геодезичні) координати зображено на рис. 1.6, де:

$B$  – геодезична широта, кут між нормаллю до еліпсоїда, проведений через задану точку  $M$  на поверхні Землі та площиною екватора;

$L$  – геодезична довгота, що являє собою двогранный кут між площинами Гринвіцьким  $G$  та заданого геодезичного меридіанів;

$H$  – геодезична висота над референц еліпсоїдом, що становить відстань по нормалі від поверхні еліпсоїда до точки  $M$  [23].

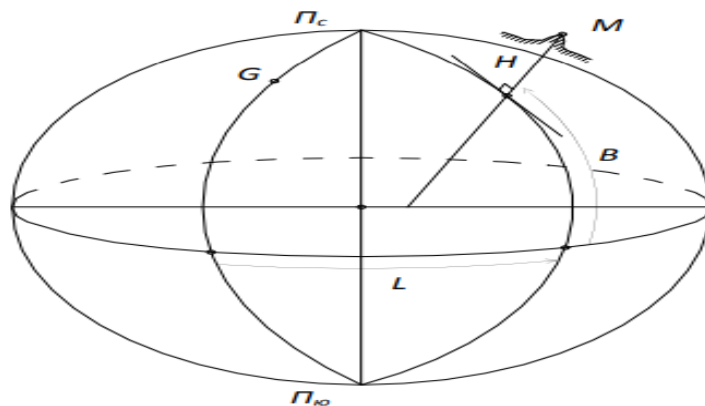


Рис. 1.6. – Геодезична система координат.



Для визначення положення в просторі необхідно задати 3-и координати, які визначаються відповідно до прийнятої системи. Система координат характеризується формою завдання координат, її початком, напрямком головної осі, положенням головної площини, вибором одиниць виміру. При визначенні координат для рухомої точки, крім координат, необхідно знати момент часу, що вимагає введення спеціальної системи відліку.

Різні завдання геодезії вимагають використання для їхнього вирішення різних систем координат. Залежно від положення початку координат система координат є, або геоцентричною – з центром мас Землі, як початком координат, або небесною – з точкою спостереження, як початком координат.

Існує 2-а типи систем координат:

1. земна система координат, яка обертається разом із Землею,
2. зоряна (небесна) система координат, у якій Земля не рухається.

Залежно від форми визначення системи координат можна поділити на 2-і групи:

1. ті, що не пов'язані із земною поверхнею,
2. ті, що пов'язані.

До 1-ої групи належать, наприклад, геоцентричні системи координат, зокрема земні та небесні системи координат. До 2-ої групи належать системи координат, що визначають положення точки на Землі згідно з її висотою та координатами для проєкції точки на цю поверхню. У деяких випадках висота точки не є суттєвою для розв'язання геодезичної задачі. Тоді, земна поверхня, або її проєкція на геоїд, еліпсоїд чи сфероїд, сферу, або площину являється дво вимірним простором, у якому положення точки задається двома координатами [24].

Для навігації поверхня моря є площиною з нульовими координатами. Для геодезичних розрахунків, як таку площину використовують геоїд, що представляє собою горизонтальну площину.

Еліпсоїд, або референц-еліпсоїд є поверхнею відносності в більшості геодезичних розрахунків, здебільшого під час розв'язання високо точних задач.

Сферичні поверхні використовують для опису земної поверхні, спрощення геодезичних розрахунків. Площини використовують для картографування земної поверхні, розв'язання геодезичних задач за допомогою формул тригонометрії та геометрії площини.

Системи координат на еліпсоїдах, сферах, площинах містять у собі полярну, або криволінійну системи координат. Число вихідних точок відліку може бути від однієї до чотирьох: одна – для полярних координат, дві – для лінійних, три – для гіперболічних, чотири – для вимірювання різниці відстаней тощо. Для встановлення зв'язків між системами координат використовують аналітичні, або графічні методи [26].

Під час встановлення відхилення від горизонтального еліпсоїда необхідно встановити геоцентричну систему координат, нормальне поле сили тяжіння, параметри яких задають геодезичні фундаментальні постійні. Загально прийнятою є геодезична система координат 1980 року. Новими результатами останніх років у дослідженні геодезичних системах координат є рекомендації з фундаментальних геодезичних констант для всесвітньої геодезичної системи 1984 року – WGS-84, що використовується в GPS системі.

Система координат WGS-84 (рис. 1.7) – це прямокутна земна система координат, введена замість системи координат WGS-72. Її початок збігається з центром мас Землі, вісь  $Z$  є паралельною напрямку на умовний полюс Землі, а вісь  $X$  визначається площиною початкового меридіана WGS-84, а також екватором міжнародного референца для початкового меридіану WGS-84, що є паралельним до нульового меридіана. Вісь  $Y$  доповнює систему координат праворуч. Положення початку координат та їхні осі збігаються з геометричним центром, віссю еліпсоїда WGS-84.

Система координат WGS-84 є пов'язаною з інерціальною системою координат, що визначається згідно із координатами зірок каталогу FK-5 для епохи 2000 року. У таблиці 1.2 наведено параметри для еліпсоїда WGS-84.

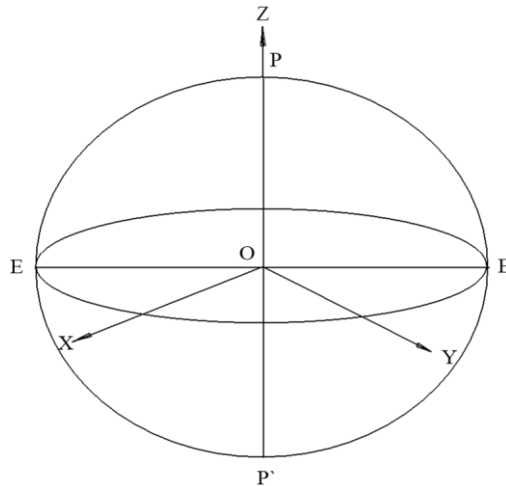


Рис. 1.7. – Референцна система координат WGS-84.

Таблиця 1.2. – Основні параметри еліпсоїда WGS-84

Параметр	Позначення	Величина	Точність
Велика піввісь	a	6378137 м	2 м
Стиснення	$\alpha$	1/298,257223563	
Кутова швидкість обертання Землі	w	7292115 <sup>-11</sup> рад/с	0,15 <sup>-11</sup> рад/с
Друга зональна гармоніка	C <sub>20</sub>	-484,16685 <sup>-6</sup>	1,3 <sup>-9</sup>
Геоцентрична гравітаційна стала	fM	3986005 <sup>8</sup> м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>	0,6 <sup>8</sup> м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup>

При встановленні системи координат WGS-84 прийнятою є швидкість світла у вакуумі, що дорівнює  $c=299792458\pm 1,2$  м/с. Відповідно значення нормальної сили ваги на поверхні еліпсоїда WGS-84 обчислюється за формулою:

$$\gamma = \frac{978032.67714(1 + 0.001931851386 \sin^2 B)}{(1 - 0.00669437999013 \sin^2 B)^{1/2}},$$

де,  $B$  – геодезична широта в системі координат WGS-84.

Модель гравітаційного поля Землі світової геодезичної системи 1984 року є отриманою у вигляді коефіцієнтів розкладу в ряд згідно з сферичними функціями до 180 порядку. Геоїд WGS-84 був визначений за результатами обчислень висот з використанням коефіцієнтів розкладу до 180 порядку за формулою:

$$N = \frac{fM}{r\gamma} \left( \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r}\right)^n (\overline{C_{nm}} \cos m\lambda + \overline{S_{nm}} \sin m\lambda) \overline{P_{nm}} \sin \Phi \right).$$

Висота геоїда WGS-84 характеризується середньо квадратичними похибками від 2 до 6 м. Але приблизно 70 % висот геоїда отримано з похибкою 2-3 м [15].

### 1.3. Методичні засади перетворення та трансформування координат

Перетворення координат – це така операція, в результаті якої одна система координат перетворюється у іншу. Наприклад, геодезичні координати перетворюються у просторові прямокутні, чи плоскі прямокутні.

Трансформування координат – це перетворення, за допомогою якого здійснюється зсув початків координат, обертання осей, масштабування систем при пере обчисленні координат з однієї референцної системи в іншу [14].

Логічну схему перетворення систем координат відображено на рис. 1.6.

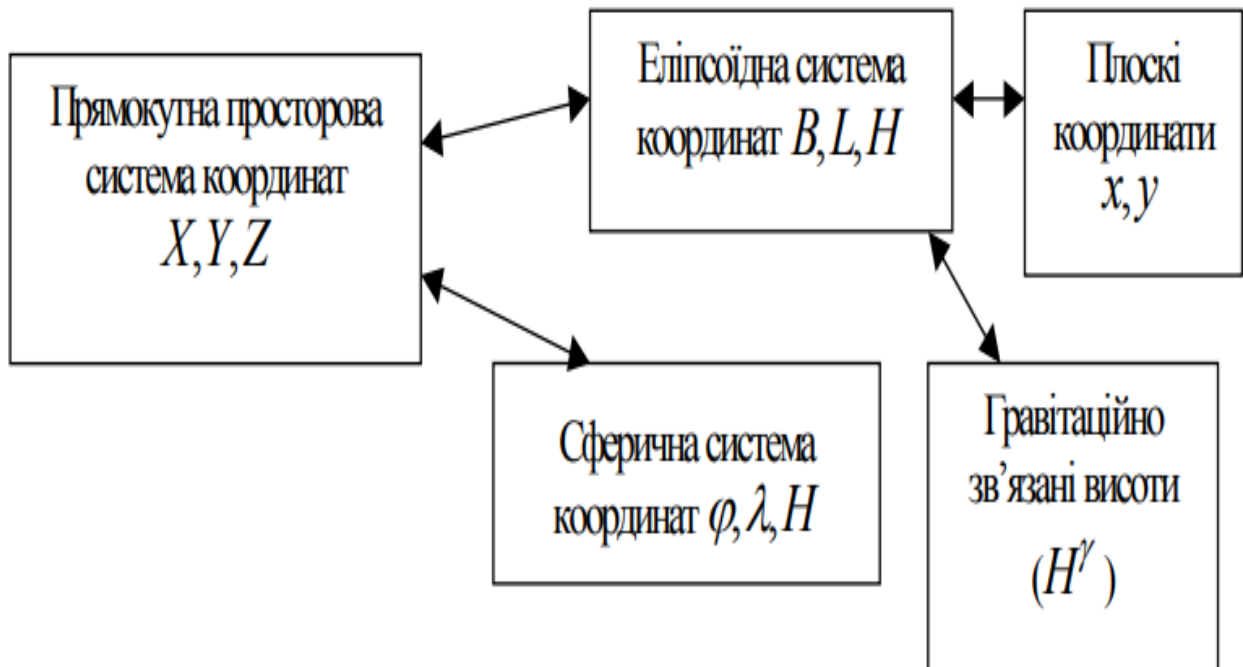


Рис. 1.6. – Логічна схема перетворення систем координат.

Референцні системи координат відрізняються між собою завдяки, або одному чи двом наступним факторам, до яких належать:

1. розходження між центрами відповідних референцних систем – лінійне зміщення;
2. відмінністю в орієнтації, довжинах для відповідних координатних осей – кутове зміщення, масштабний множник [7].

Набір числових значень векторів лінійних і кутових зміщень, а також масштабного множника носять назву параметрів трансформування координат.

Строге трансформування між референцними системами виконується у просторових прямокутних координатах за допомогою методу трансформування Гельмерта.

Перехід від просторових прямокутних координат  $X, Y, Z$  у системах координат ITRS/ITRF2000 до просторових прямокутних координат  $X, Y, Z$  в системі координат УСК-2000 виконують за допомогою методу Гельмерта із використанням наближених параметрів:

$$\begin{aligned}\Delta X &= -24,322 \text{ м,} \\ \Delta Y &= 121,372 \text{ м,} \\ \Delta Z &= 75,847 \text{ м,}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= 0''; \\ \epsilon_y &= 0''; \\ \epsilon_z &= 0'';\end{aligned}$$

$$\mu = 0,$$

- де,  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  - зміщення центра для системи координат ITRS/ITRF2000 відносно центра системи координат УСК-2000 за осями  $X, Y, Z$ ;
- $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  - кути повороту осей для системи координат ITRS/ITRF2000 відносно осей системи координат УСК-2000 за осями  $X, Y, Z$ ;
- $\mu$  - величина зміни масштабного коефіцієнта.

Саме перетворення просторових прямокутних координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  у геодезичні  $B$ ,  $L$ ,  $H$  здійснюється на основі використання параметрів еліпсоїда Красовського:

- велика піввісь – 6 378 245 м;
- стиснення – 1 : 298,3.

З метою перерахування геодезичних координат на площину в проєкції Гаусса-Крюгера обирають поперечну проєкцію Меркатора, або Transverse Mercator та задають параметри:

- початок відліку широти –  $0^\circ$ ;
- початок відліку довготи – значення для довготи осьового меридіана місцевої системи координат у відповідності до паспорта місцевої системи координат;
- північний умовний зсув для початку системи координат, що становить 0 м для місцевих систем координат АРК, областей, міст Київ та Севастополь;
- для місцевих систем координат населених пунктів – значення обирають у відповідності до паспорта місцевої системи координат;
- східний умовний зсув – 300 000 м для місцевих систем координат АРК, областей, міст Київ та Севастополь;
- для місцевих систем координат населених пунктів обирають значення згідно з паспортом місцевої системи координат;
- масштабний коефіцієнт – 1,0000.

Для території України з метою переходу від геодезичних висот  $H$  у Балтійську систему висот 1977 року використовують модель квазігеоїда [20].

## 2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ТРАНСФОРМУВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ РЕФЕРЕНЦІЙНИХ КООРДИНАТ

### 2.1. Методика переходу від однієї системи координат до іншої

При виконанні розрахунків постійно виникає потреба у переході від однієї системи координат до іншої. Такі перетворення легше всього виконувати через першу, або другу систему екваторіальних координат (рис. 2.1.)

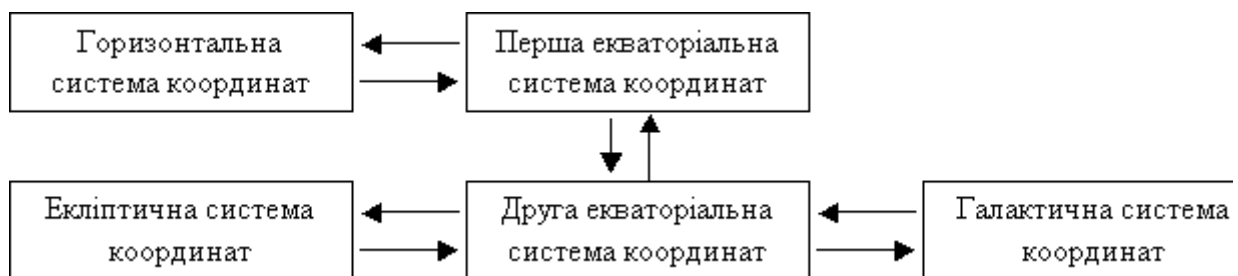


Рис. 2.1. – Схема переходів між системами координат.

Для переходу від азимуту  $A$ , висоти  $a$  небесного тіла у горизонтальній системі координат до часового кута  $H$ , схилення  $\delta$  у 1-ій екваторіальній системі використовують формули:

$$\sin \delta = \sin a \cdot \sin \phi + \cos a \cdot \cos \phi \cdot \cos A ;$$

$$\cos H = \frac{\sin a - \sin \phi \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta} ,$$

де,  $\phi$  – географічна широта для точки спостереження.

Зворотній перехід від часового кута  $H$ , схилення  $\delta$  у 1-ій екваторіальній системі до азимуту  $A$ , висоти  $a$  небесного тіла у горизонтальній системі координат здійснюють за формулами:

$$\sin a = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos H ;$$

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \phi \cdot \sin a}{\cos \phi \cdot \cos a} ,$$

Часовий кут  $H$ , пряме сходження  $\alpha$  є пов'язаними між собою на основі рівняння:

$$H = LST - \alpha,$$

де,  $LST$  – місцевий зоряний час.

Розрахунок прямого сходження  $\alpha$ , схилення  $\delta$  небесного тіла у 2-ій екваторіальній системі координат за відомими екліптичними широтою  $\beta$ , довготою  $\lambda$  виконують згідно з формулами:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{\sin \lambda \cdot \cos \varepsilon - \operatorname{tg} \beta \cdot \sin \varepsilon}{\cos \lambda}\right);$$

$$\delta = \operatorname{arcsin}(\sin \beta \cdot \cos \varepsilon + \cos \beta \cdot \sin \varepsilon \cdot \operatorname{son} \lambda),$$

де,  $\varepsilon$  – кут нахилу екліптики.

Для переходу від прямого сходження  $\alpha$ , схилення  $\delta$  небесного тіла у 2-ій екваторіальній системі координат до екліптичної широти  $\beta$ , довготи  $\lambda$  використовують формули:

$$\lambda = \operatorname{arctg}\left(\frac{\sin \alpha \cdot \cos \varepsilon - \operatorname{tg} \delta \cdot \sin \varepsilon}{\cos \alpha}\right);$$

$$\beta = \operatorname{arcsin}(\sin \delta \cdot \cos \varepsilon + \cos \delta \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \alpha),$$

Розрахунок прямого сходження  $\alpha$ , схилення  $\delta$  небесного тіла у 2-ій екваторіальній системі координат за визначеними галактичними широтою  $b$ , довготою  $l$  виконують за формулами:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{\cos b \cdot \cos(1 - 33^\circ)}{\sin b \cdot \cos(27.4^\circ) - \cos b \cdot \sin(27.4^\circ) \cdot \sin(1 - 33^\circ)}\right) + 192.25^\circ;$$

$$\delta = \operatorname{arcsin}(\cos b \cdot \cos(27.4^\circ) \cdot \sin(1 - 33^\circ) + \sin b \cdot \sin(27.4^\circ)),$$

де, числові значення відображають відомості про положення галактичного полюсу, довготу висхідного кута площини галактики.

Для переходу від прямого сходження  $\alpha$ , схилення  $\delta$  небесного тіла у 2-ій екваторіальній системі координат до галактичних координат використовують формули [27]:



$$b = \arcsin (\cos \delta \cdot \cos(27.4^\circ) \cdot \cos(\alpha - 192.25^\circ) + \sin \delta \cdot \sin(27.4^\circ)),$$

$$l = \operatorname{arctg} \left( \frac{\sin \delta - \sin b \cdot \sin(27.4^\circ)}{\cos \delta \cdot \sin(\alpha - 192.25^\circ) \cdot \cos(27.4^\circ)} \right) + 33^\circ.$$

На основі відомих геодезичних координат для точки спостереження обчислюють просторові референтні прямокутні координати  $X_R$ ,  $Y_R$ ,  $Z_R$ , за допомогою формул:

$$X_R = (N + H) \cos B \cos L,$$

$$Y_R = (N + H) \cos B \sin L,$$

$$Z_R = (N(1 - e^2) + H) \sin B,$$

де,  $N$  – радіус кривини для першого вертикала, що визначають згідно з формулою:

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}}.$$

Для того, щоб перетворити декартові референтні координати  $X_R$ ,  $Y_R$ ,  $Z_R$  в геоцентричні координати  $X_h$ ,  $Y_h$ ,  $Z_h$  для точки спостереження застосовують відповідні формули:

$$\begin{vmatrix} X_h \\ Y_h \\ Z_h \end{vmatrix} = MR \begin{vmatrix} X_R \\ Y_R \\ Z_R \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{vmatrix}$$

де,  $M = (1 + m)$  – матриця масштабних множників, що при виконанні переобчислень для сучасних систем координат приймають за одиницю, тобто  $M=I$ , а матриця перетворення  $R$  визначається за формулою:

$$R = \begin{vmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{vmatrix}$$

Геодезичні координати обчислюють за формулами:

$$L = \operatorname{arctg} \frac{Y_R}{X_R},$$

$$D = X \sec L = Y \operatorname{cosec} L,$$

$$B' = \operatorname{arctg} \frac{Z_R + Ne^2 \sin B_0}{D}.$$

Дане наближення виконуються з точністю до 1'' та з находять середнє значення  $H$  за формулами [26]:

$$H = \frac{D}{\cos B'} - N,$$

$$H = \frac{Z_R}{\sin B'} - N(1 - e^2).$$

## 2.2. Способи трансформування референцих систем координат

Одним із принципів використання національної геодезичної системи УСК-2000 є застосування математичних методів до роботи з координатами для перетворення, переведення координат із низько точної системи координат у високо точну. Відповідні операції з координатами – це їхня зміна відповідно до принципів "один до одного" та "з однієї системи координат в іншу". Ця операція включає в себе процеси перетворення координат, їхньої трансформації. Перетворення координат виконується тоді, коли відомі теоретичні, а саме точні значення вихідних параметрів. Процес трансформації виконується тоді, коли теоретичні точні значення параметрів координат є не відомі і потрібно інтерполювати, або апроксимувати їх за опорною точкою.

На основі досліджень вітчизняних учених виявлено не однозначність викривлень під час переходу від системи координат СК-42 та її похідних до системи координат УСК-2000, яку розв'язують за допомогою поля перетворення, тому, що інформація про деформацію в процесі перетворення координат погано піддається математичному опису.

Параметри перетворення координат з однієї системи координат в іншу визначають на основі спільних точок з відомими координатами, заданими в обох системах координат. Якість такого трансформування залежить від кількох факторів, таких як:

- щільність суміщених точок;

- точність визначення координат;
- просторове розміщення;
- метод трансформування.

Вибір методу перетворення залежить від характеристик одержуваних результатів. Перетворення має сприяти досягненню мети, заради якої виконується перетворення координат.

Однією з особливостей перетворень є те, що точність визначення координат точок, суміщених у різних системах координат, може суттєво відрізнятися. З огляду на різну точність визначення координат точок у різних системах координат, до перетворень координат висувають такі вимоги:

- не рівномірність перетворення, що передбачає вибір параметрів перетворення з різними коефіцієнтами для зміни масштабу вздовж кожної координатної осі. При цьому, в результаті перетворення перераховані координати опорної точки у вхідній системі встановлюють точно за координатами точки у такій вихідній системі;
- безперервність перетворення означає, що точка на межі області в певній системі координат перетворюється на точку на межі тієї ж самої області, а її положення залишається не змінним у разі використання параметрів перетворення для конкретної області;
- завдяки не залежності локальних перетворень, параметри перетворення налаштовуються локально, послідовно в регіонах, де щільність точок збільшується, а в інших регіонах параметри перетворення залишаються не змінними [8].

Для вирішення поставленої задачі застосовують 2-а підходи:

1. інтерполяцію,
2. апроксимацію функцій.

У разі використання інтерполяції треба відновити функцію  $F$ , а саме знайти таку інтерполяційну функцію  $f$  для трансформування координат, яка б наближала цю функцію  $F$  на її області визначення, причому її значення у вузлах інтерполяції точно збігалося б із заданими значеннями для відповідної

функції  $F$ :

$$f(XY) = UV.$$

За допомогою апроксимації досягають визначення аналітичної функції  $f$  трансформування координат, що згладжує особливості функції та наближає  $F$  на її області визначення. При чому, її значення у вузлах інтерполяції не збігається із заданими значеннями функції  $F$ :

$$f(XY) \neq UV.$$

У поставленій задачі функція  $F$  задана таблично, що визначає точкову апроксимацію, при чому, вона використовується, як апроксимація за методом найменших квадратів:

$$v^2 = v^T p v = (\varphi(XY) - UV)^T(p)(\varphi(XY) - UV) = \min$$

Водночас існує багато функцій для трансформування координат з однієї системи в іншу. Серед найбільш відомих серед них є такі:

- поліноміальне трансформування;
- трансформування згідно з методом Гельмерта;
- афінне трансформування;
- трансформування за методом скінченних елементів [25].

Перетворення координат з системи координат  $XY$  до  $UV$  за методом Гельмерта виконують згідно з формулою:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix},$$

де  $u, v$  – це трансформовані координати точки;

$m$  – масштабний коефіцієнт;

$\theta$  – кут повороту системи координат  $u, v$  відносно  $x, y$ ;

$x, y$  – вихідні координати точки;

$x_0, y_0$  – координати початку системи координат  $x, y$  в системі координат  $u$  та  $v$ .

Таким чином, застосування методу Гельмерта потребує визначення 4-ох невідомих параметрів  $F = f(x_0, y_0, \theta, m)$ . Тому для трансформування за

інтерполяційним методом необхідно визначити параметри Гельмерта за 2-ма опорними точками.

Для трансформування із застосуванням методу апроксимації кількість опорних точок повинна бути більшою, ніж дві, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме  $2n - 4$ .

Трансформування за методом Гельмерта зазвичай виконують у разі не великої кількості суміщених точок, проте воно не дає змоги досягти високої точності трансформування [19].

### **2.3. Способи перетворення референцних координат в Україні**

Міжнародну службу обертання Землі – IERS відповідає за створення найкращої практичної реалізації системи земних координат CTS. З цією метою параметри обертання Землі постійно вдосконалюються, а саме за допомогою VLBI – Very Long Baseline Interferometry, SLR – Satellite Laser Ranging, DORIS – Doppler Orbitography, Laser Lunar Ranging – LLR і IGS – International Geodynamic. На основі вимірювань мережі GPS-спостережень визначають зміщення полюсів головного меридіана, уточнюють геоцентричні координати для базових геодезичних станцій, відстежують їхнє взаємне зміщення внаслідок деформації земної кори.

Як правило, базові станції оснащені комплексом VLBI, SLR і GPS спостережень, деякі з них апаратурою LLR. Сьогодні система координат CTS узагальнена під назвою International Terrestrial Reference Coordinate System – ITRS, що містить теоретичні положення, практичну реалізацію International Terrestrial Reference Frame – ITRF.

У Європі існує Європейська земна референцна система – ETRS, яка є аналогом IERS, відповідності до чого на практиці реалізується Європейська земна референцна система – ETRF.

У зв'язку з постійним збільшенням кількості геодезичних станцій, їхніх спостережень, а також динамічними процесами, що відбуваються в земній корі,

існує постійна необхідність у вдосконаленні системи координат ITRF. Нові реалізації системи координат називаються ITRF-YYYY, ETRF-YYYY, ITRF-88, -89, -90, -91, -92, -93, -94, -96, -97, -2000, -2005, ITRF-2008 та аналогічні реалізації ETRF.

Подальші реалізації є більш досконаліми, оскільки використовують кінцеві результати, отримані в різних центрах опрацювання вимірювань, що використовують більш тривалі спостереження, виконані на більшій кількості станцій [26].

Існує три основні принципи впровадження системи координації УСК-2000, зокрема положення:

1. Постанови Кабінету Міністрів України [3], згідно з якою топографо-геодезичні, картографічні роботи виконуються з використанням геодезичної системи координат УСК-2000;

2) топографічні та кадастрові карти, створені в регіональній системі координат, що є похідною від УСК-2000, повинні їй відповідати у повній мірі;

3. механізм використання геодезичної системи координат УСК-2000 у землевпорядних роботах є обов'язковим для застосування розробниками землевпорядної документації [19].

Загалом, система координат СК-42 та її похідні СК-63 мають параметри, наближені до параметрів щодо інтеграції архівного матеріалу в глобальний, а саме континентальний координатний простір. З іншого боку, система координат УСК-2000 та похідна від неї локальна місцева система координат МСК-N, де  $N=1, \dots, 28$  мають точні й одно значні параметри, тому точність переходу до системи координат WGS-84 та ITCR є високою.

Використання геодезичної системи координат УСК-2000 здійснюється відповідно до таких чинників, до яких належать:

а) міжнародний досвід з впровадження опорних геодезичних систем координат;

б) застосування суворих математичних методів для забезпечення перетворення у високо точну систему координат, а також маніпулювання координатами під час їхнього перетворення координат;

в) урахування адміністративно-територіального устрою України

г) використання наявної нормативно-правової, технічної, програмної інфраструктури національного кадастру.

У сучасних повно функціональних геоінформаційних системах (ГІС) можна виділити такі методи трансформування даних, як [12]:

- трансформування Гельмерта;
- афінне перетворення;
- інтерполяційні поліноми 2-го та вищих порядків;
- проєктивні методи;
- інтерполяція кубічними сплайнами;
- метод скінченних елементів.

Представлені теоретичні підходи до вирішення проблеми перетворення координат наведено на рис. 2.2.

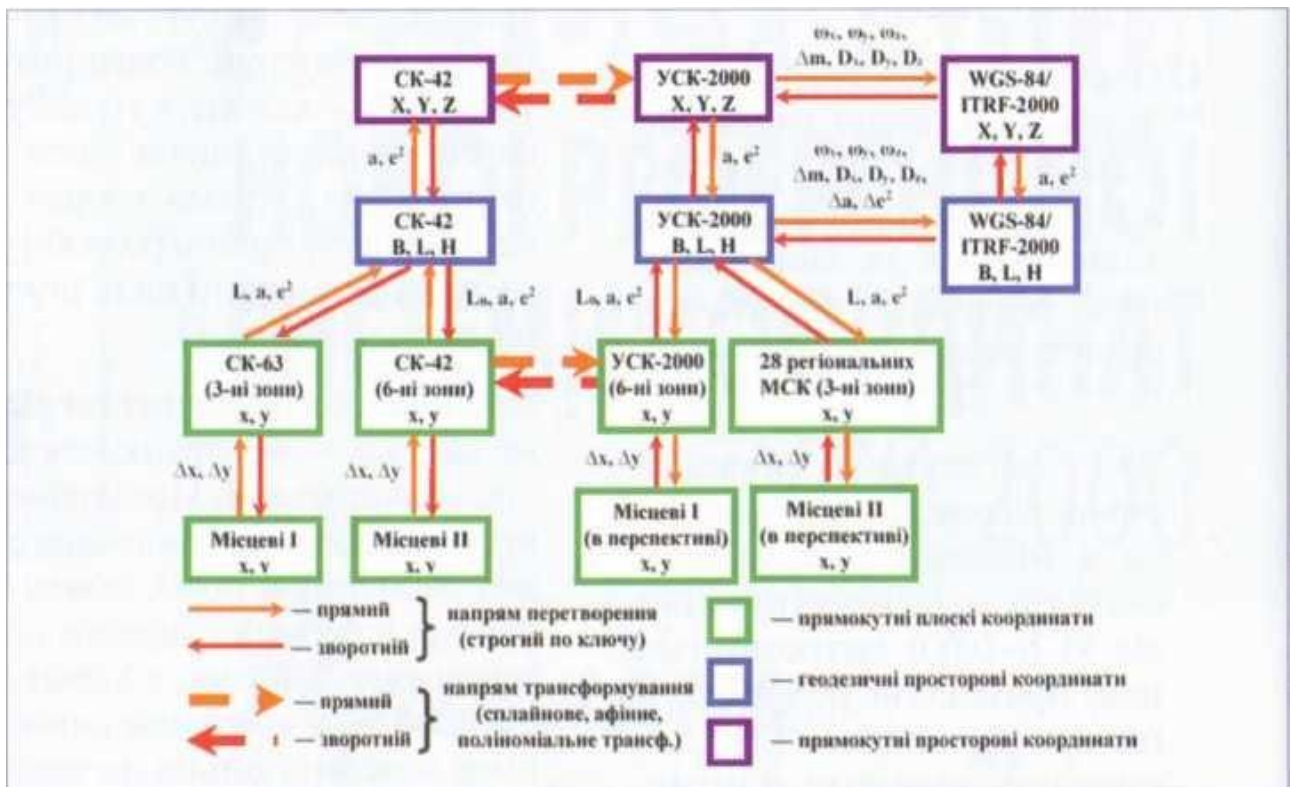


Рис. 2.2. – Методика координатного перетворення, трансформування між основними системами координат та їх похідними в Україні.

У землевпорядній практиці існує два методи отримання координат у системі УСК-2000, шляхом:

1. перетворення даних з архівних даних, що зберігаються в системах СК-42 і СК-63;
2. використання даних глобальних навігаційних супутникових систем, що працюють у системі координат WGS-84.

Ключі переходу із однієї системи координат в іншу можуть, або мати сувору емпіричну залежність, або бути отриманими, шляхом застосування поля перетворення, що пояснює відмінність між перетвореннями і трансформаціями між ними. Для дослідницьких цілей цікаво розглянути перетворення координат, проаналізувавши деякі математичні методи, рівномірність і розташування опорних точок, тощо.

Так, у першому способі не має точного ключа для переходу від систем координат СК-42 і СК-63 до системи координат УСК-2000 і навпаки. Перетворення координат виконується за локальним ключем, отриманим за допомогою поля перетворення з опорними точками, координати яких є відомими в обох системах координат. У багатьох випадках мережа будується за допомогою рівняння Делоне. У цьому випадку точність перетворення координат у разі використання локального ключа залежить від параметрів перетворення, таких, як математична модель, положення, розташування опорних точок, точність початкових координат [27].

У другому методі застосовують параметр Гельмерта, що пов'язаний із системами ITRS/ITRF2000 і WGS-84 та активно використовується на практиці в усьому світі. Відмінності в значеннях параметрів Гельмерта в різних програмних засобах ускладнюють автоматизацію обробки даних, аналізу поля перетворення. Це потребує обережності через відсутність методичного забезпечення критеріїв вибору опорних пунктів для побудови даного поля, наприклад, вибору оптимальної однорідності пунктів на заданій території, їхнього складу, що підвищує точність геодезичних і землевпорядних робіт [26].



### 3. ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТРАНСФОРМУВАННЯ РЕФЕРЕНЦНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ

#### 3.1. Трансформування референцної системи координат УСК-2000 у середовищі ArcGIS

Структура референцної системи координат УСК-2000 включає в себе просторову прямокутну систему координат  $X, Y, Z$ , геодезичну систему координат  $B, L$  та  $H$ , а також прямокутну систему координат із проєкціями Гаусса-Крюгера в зонах  $6^\circ$  і  $3^\circ$  та 27 місцевих систем координат.

Просторова система координат  $X, Y$  та  $Z$  і геодезична система координат  $B, L$  та  $H$  охоплюють усю територію України. Прямокутні системи координат зон  $6^\circ$  і  $3^\circ$  у проєкції Гаусса-Крюгера, відповідні стандартні осьові меридіани також охоплюють усю територію України [10].

У 6-градусній зоні проєкції Гаусса-Крюгера створюють топографічні карти масштабу менше, ніж  $1 : 10\,000$ , а 3-градусна зона використовується для велико масштабних топографічних зйомок. Місцеві системи координат також використовують для велико масштабних топографічних, кадастрових зйомок. Структури державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 наведено на рис. 3.1.

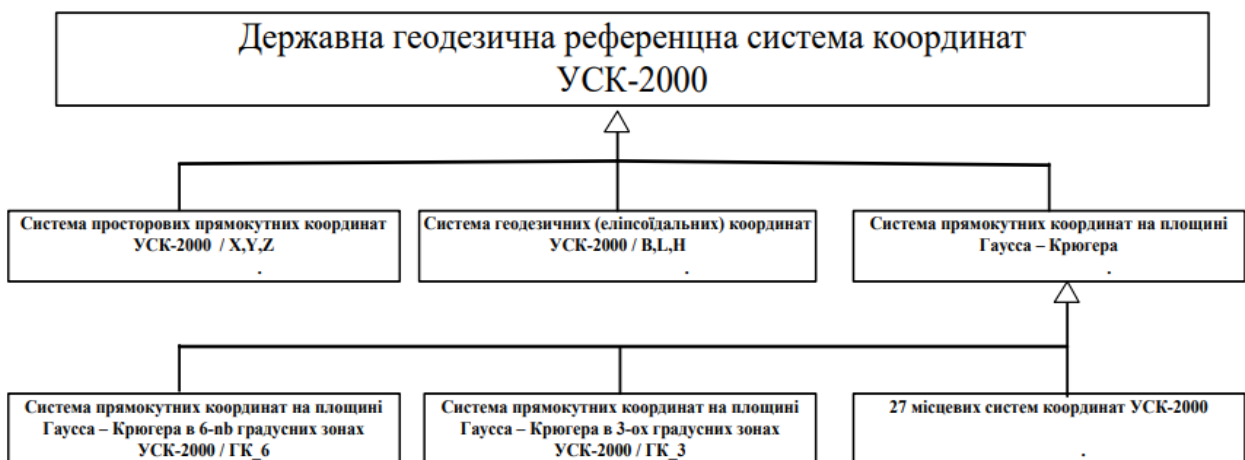


Рис. 3.1. – Структура державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000.

Слід зазначити, що перелічені системи просторових координат  $X, Y$  та  $Z$ , геодезичні системи координат  $B, L$  та  $H$ , а також прямокутні системи координат у площині Гауса-Крюгера є підтипами, тобто окремими випадками для класу об'єкта національної геодезичної системи координат.

Нині в Україні офіційно зареєстровано 1146 місцевих систем координат, створених на основі систем координат СК-42 і СК-63. Слід зазначити, що місцева система координат значною мірою є зруйнованою. Багато організацій, які проводили землевпорядні роботи протягом останніх 20-ти років, не використовували офіційні параметри місцевої системи координат, а встановлювали свої власні. Це призвело до спотворення координатної інформації про земельні ділянки в місцевій системі координат, сильно ускладнило переведення в системи координат СК-63 і УСК-2000.

Крім того, проведена реконструкція національної геодезичної мережі, унаслідок якої координати пунктів було змінено аж до 2 метрів вимагає проведення необхідних геодезичних робіт з реконструкції міської геодезичної мережі та місцевої системи координат. Це призводить до розбіжності параметрів місцевої системи координат із координатами пунктів національної геодезичної мережі в системі координат СК-42 з точністю до 2-ох метрів [9].

Існують також місцеві системи координат, створені без врахування параметрів осьового меридіана, а також зміщення центру системи координат, описаних як координати початкового пункту Державної геодезичної мережі (ДГМ) та дирекційного кута до сусіднього пункту ДГМ для орієнтування системи. Для вирішення цих проблем необхідно перебудувати локальну систему координат.

Під час реалізації системи координат УСК-2000 було здійснено перехід від 1146-ти наявних місцевих систем координат до 27-ми регіональних місцевих систем координат. Моделювання параметрів місцевих систем координат було засновано із застосуванням інтегрального критерію Ейрі, що визначає квадрат середнього спотворення довжини на одиницю площі за формулою:

$$E_{\text{var}}^2 = \frac{1}{S} \int_S \varepsilon^2 dS$$

де,  $S$  – площа території,  $\varepsilon$  – критерій для визначення спотворень довжин. Реалізація інтегрального критерію Ейрі приводить до функціоналу, розкритого у формулі:

$$E^2 = \frac{1}{2S} \iint_S [(a-1)^2 + (b-1)^2] dBdL = \min$$

де,  $a$  та  $b$  – найбільший та найменший часткові масштаби по напрямках в точці з координатами  $B$  та  $L$ . [1]

Нова регіональна система координат охоплює всю територію України та є прив'язаною до адміністративно-територіального устрою України. Окремі місцеві системи координат охоплюють територію однієї адміністративно-територіальної одиниці. Для території України Національна інфраструктура геопросторових даних створила опис усіх підтипів системи координат УСК-2000 у моделі, що можна застосовувати і геоінформаційній програмі ArcGIS у форматі .prj, де використовують такі параметри, як:

- геодезична система координат  $B$  та  $L$ ;
- 4-и прямокутні системи координат  $X$  та  $Y$  на площині в межах 6-градусної зони проекції Гаусса-Крюгера, а саме зони 4, 5, 6 та 7;
- 7-м прямокутних систем координат  $X$  та  $Y$  на площині в 3-градусній зоні проекції Гаусса-Крюгера для осьового меридіану  $21^\circ$ ,  $24^\circ$ ,  $27^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $33^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $39^\circ$ ;
- 27-м місцевих систем координат УСК-2000.

Відповідний файл містить описи 39-ти систем координат, включно з усіма підтипами та типами системи координат УСК-2000. Для переходу від застарілих низько точних систем координат СК-42 і СК63 у Національній інфраструктура геопросторових даних створили поле перетворення у вигляді TIN-моделі на основі пунктів Державної геодезичної мережі. Перетворення координат точок із системи координат СК-42 та СК-63 у систему координат УСК-2000 здійснюється шляхом афінного перетворення за допомогою застосування методу кінцевих

елементів [9]. У результаті проведених перетворень середня квадратична похибка трансформування не має перевищувати 10-ти см.

Крім того, для забезпечення перетворення координат точок із системи координат СК-42 та СК-63 у систему координат УСК-2000 розроблено поле перетворення у форматі Ntv2 – National Transformation Version та Ontario Government IT Standards – GO-ITS для створення поля перетворення, які реалізують звичайну модель GRID і використовуються в геоінформаційній програмі ArcGIS.

Файл поля перетворення NTV-2 складається з 2-ох частин, що містить:

1. загальну інформацію про поля перетворення;
2. поле перетворення на територію України у вигляді індивідуальних значень поправок із геодезичних координат В та L у системі координат СК-42 у геодезичні координати В та L у системі координат УСК-2000.

Для виконання такого перетворення координат необхідно створити географічне перетворення в ArcMap за допомогою інструменту ArcToolbox, використовуючи метод NTV-2. Отримане географічне перетворення у форматі .gtf зберігається і є доступним для користувача. Відповідне рішення значно автоматизує процес оброблення даних, забезпечує ефективне використання національної референцної геодезичної системи УСК2000, що містить:

- файли опису системи координат УСК-2000 у форматі .prj із використанням інструментів ArcGIS;
- поля перетворення у форматі NTV-2 для забезпечення перетворення координат із системи координат СК-42 та СК-63 у систему координат УСК-2000;
- поля перетворення, функції для перетворення нормальних висот Балтійської системи висот 1977 р. в прямі та зворотні геодезичні висоти системи координат WGS-84 із використанням цифрової моделі псевдогеоїда.

Таким чином, застосування геоінформаційної системи ArcGIS забезпечує основу для використання національної геодезичної системи координат УСК-2000 у практичній роботі в усіх галузях топографії, геодезії,

землепорядкування, містобудування, інших видів діяльності, заснованих на використанні геоінформаційних технологій [10].

### **3.2. Трансформування референцної системи координат УСК-2000 у середовищі QGIS**

Система координат WGS-84 є дуже поширеною для представлення даних. Але при роботі у геоінформаційній системі QGIS виникає проблема, яку можна усунути згідно наведеного алгоритму дій, що передбачає:

1. зберегти поточну картку;
2. відкрити карту світу та наблизити потрібне зображення карти за допомогою команди *Zoom In*.
3. встановити масштаб у полі *Scale*, яка знаходиться на панелі стану в нижній частині екрану.


Зміна масштабу дозволяє віддалятися від тієї точки, на було збільшено масштаб, що знаходився в центрі екрану. Навколо цієї точки масштаб інший. Це відбувається через те, що через земну кулю проходять лінії з півночі на південь, а саме довготи, які знаходяться далеко одна від одної на екваторі, але зустрічаються на полюсах.

У геоінформаційній системі QGIS, при роботі над земною поверхнею, екран все одно залишається плоский. Коли необхідно зобразити сферу на плоскій поверхні, то виникає спотворення. На карті це означає, що лінії довготи знаходяться на однаковій відстані одна від одної, навіть на полюсах, а саме там, де вони мають перетинатися. Це означає, що в міру того, як віддалятися від екватора на карті, то відповідно масштаб об'єктів, які є доступними стають все більше і більше. Насправді це означає, що на нашій карті не має постійного масштабу.

Щоб вирішити цю проблему, замість цього використовують проєкційну систему координат, що «проєктує» чи конвертує дані в такий спосіб, щоб враховувати зміни масштабу та коригує його. Тому, щоб масштаб був постійним,

необхідно перепроєктувати дані для того, щоб використовувати геоінформаційну систему QGIS.

За умовчанням QGIS перепроєктує дані «на льоту». Це означає, що навіть якщо самі дані знаходяться в іншій системі координат, то QGIS може проєктувати їх так, як би вони знаходилися в іншій системі координат, а саме тій, яку було обрано.

Щоб змінити систему координат проєкту потрібно натиснути «Current projection»  у правому нижньому куті QGIS. Після цього необхідно:


1. у діалоговому вікні, яке з'являється, потрібно ввести слово «global» у полі «Filter». Після цього мають з'явитися в цьому полі перелік «Predefined Reference Systems»;
2. далі обираємо систему координат WGS-84, натиснувши на неї, а потім «ОК».
3. збільшити масштаб;
4. прокрутити карту.

Варто звернути увагу на те, що масштаб залишився тим самим. Пере проєктування на льоту також використовується для об'єднання наборів даних, які знаходяться в різних системах координат. Для цього потрібно:

1. додати на карту ще один шар вектору, який містить необхідні дані;
2. завантажити його. .

Зразу помітно, що шар видно, навіть якщо він має іншу систему координат, яка відрізняється від іншої. Іноді необхідно експортувати існуючий набір даних з іншої системи координат. Якщо є потреба розрахувати відстані на шарі, то завжди краще мати шар у проєктованій системі координат. Варто розуміти, що пере проєктування, здійснене «на льоту», має відношення до проєкту, а не до окремих шарів. Це означає, що шар може мати іншу систему координат, яка відрізняється від проєктного, навіть якщо його видно в правильному положенні. У результаті можна легко експортувати шар з іншою системою координат за допомогою виконання дій, що передбачають:

1. додати набір даних;

2. клацнути правою кнопкою миші на шар на панелі «Layers»;
3. вибрати «Export» → «Save Features As...» → «Save Vector Layer as...»;
4. клацнути на кнопку «Browse» поряд з полем «File name»;
5. вказати ім'я нового шару;
6. змінити значення системи координат за допомогою меню, що розкривається, після чого з'явиться тільки недавно використані системи координат. Далі необхідно клацнути на кнопку «Select projection»  поряд з меню, що розкривається;
7. у діалоговому вікні «Coordinate Reference System Selector», у полі «Filter» робимо пошук необхідної системи координат так, як це відображено на рис. 3.2.

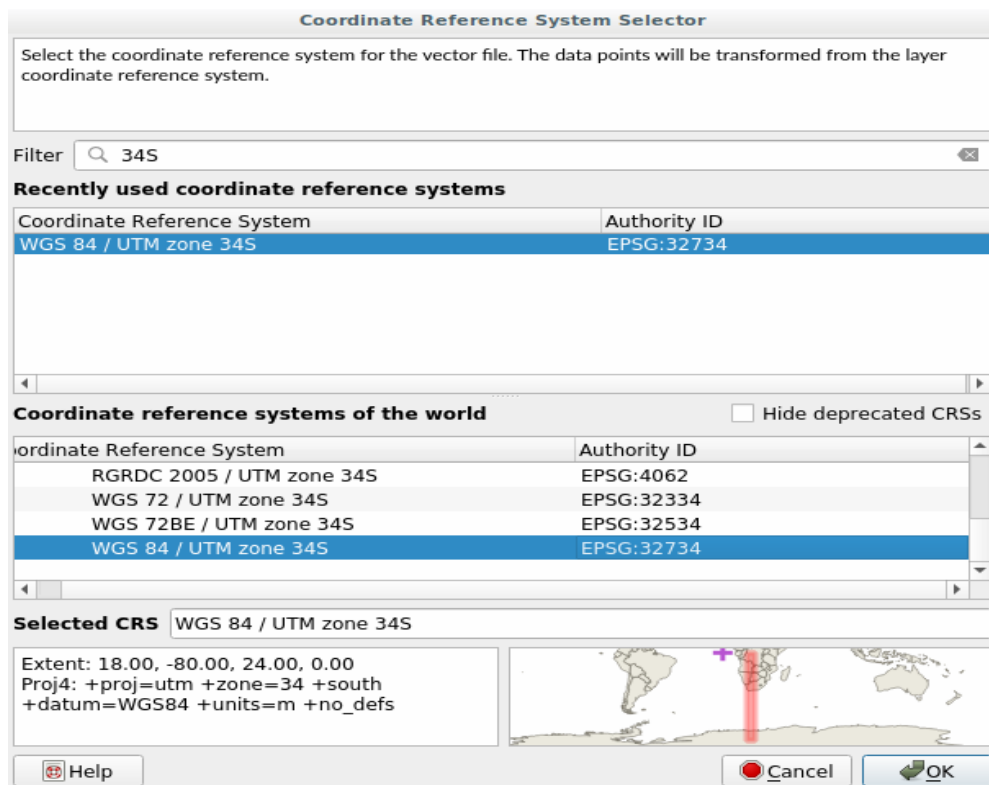


Рис. 3.2. – Діалогове вікно «Coordinate Reference System Selector» у геоінформаційній системі QGIS.

Інші параметри варто залишити без змін. У діалоговому вікні «Save Vector Layer...» відобразиться інформація, представлена на рис. 3.3.

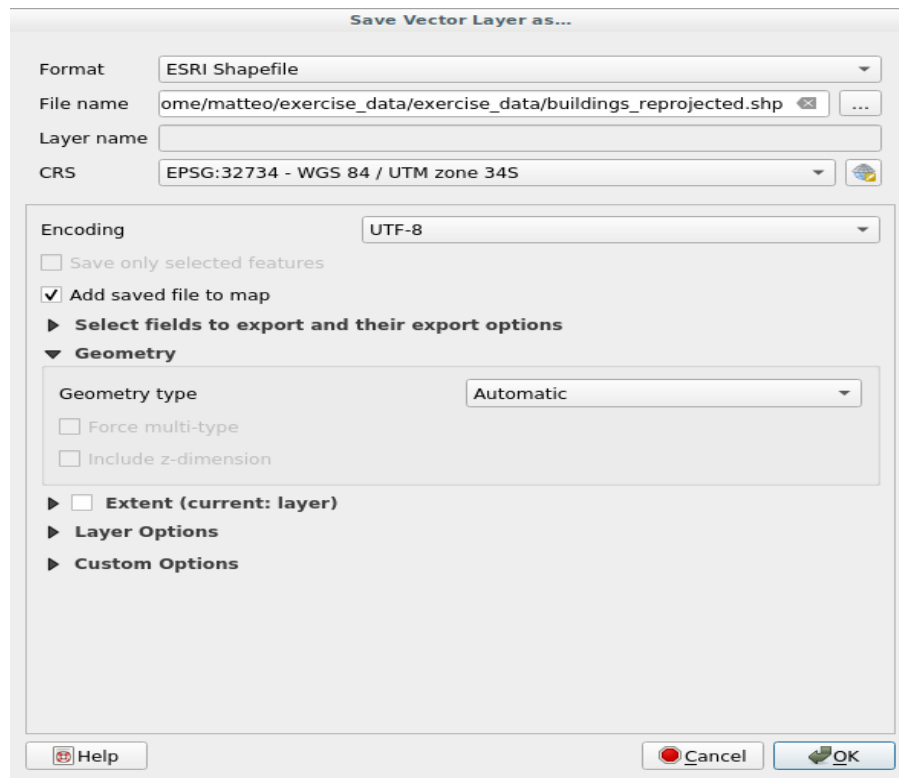


Рис. 3.3. – Діалогове вікно «Save Vector Layer...» у геоінформаційній системі QGIS.

Далі потрібно натиснути на кнопку «ОК». Тепер можна порівняти стару та нову проекції шару та побачити, що вони знаходяться у двох різних системах координат, але вони все ще перекриваються. Крім тих проекцій, які включені в геоінформаційну програму QGIS за замовчуванням, є ще багато інших проекцій. Також є можливість створювати свої власні проекції за допомогою виконання послідовності дій, що вимагають:

1. відкрити нову карту;
2. завантажити набір даних;
3. перейти до «Settings» → «Custom Projections...» і побачити діалогове вікно, зображене на рис. 3.4.



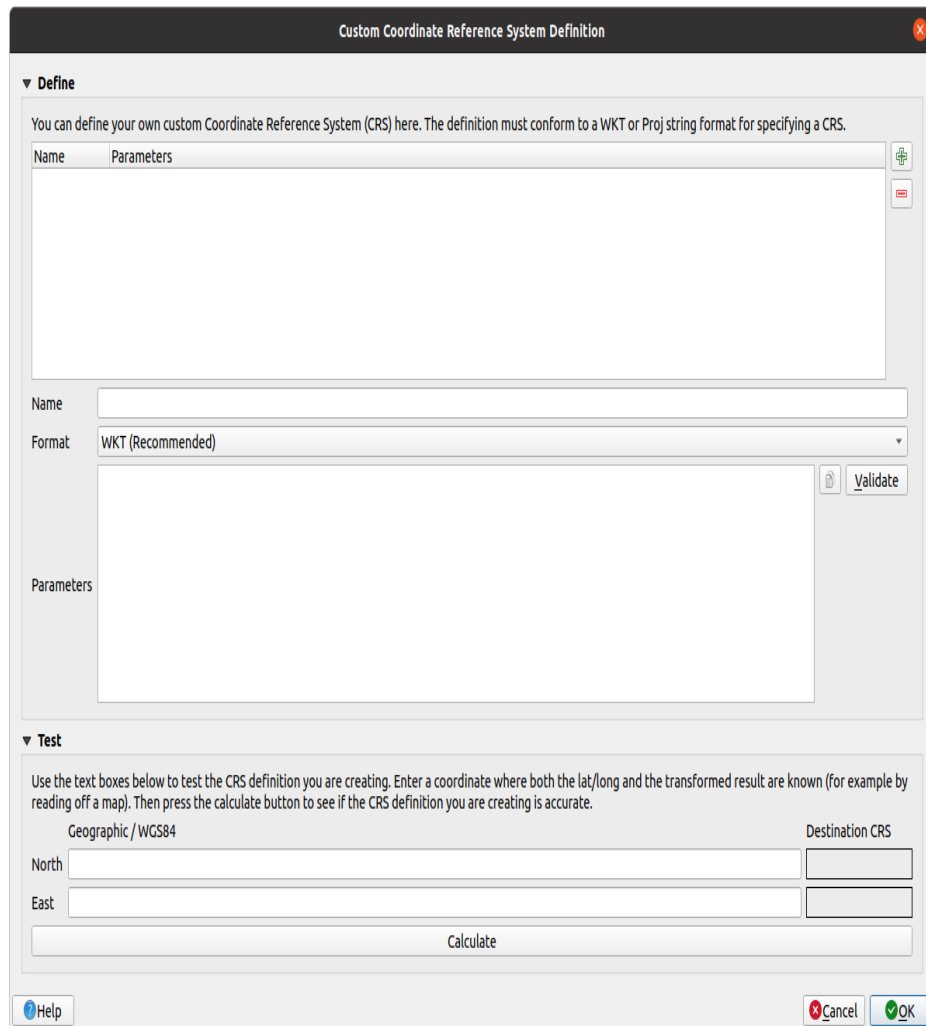




Рис. 3.4. – Діалогове вікно «Custom Projections...» у геоінформаційній системі QGIS.

- 4) натиснути кнопку «Add new CRS»  для створення нової проекції;
- 5) натиснути кнопку «OK» → «Current CRS» , що знаходиться праворуч від рядка стану для зміни проекту систем координат;

б) вибрати свою нову проекцію за допомогою пошуку у полі «Filter»;

У результаті різні проекції є корисними для різних цілей, вибравши правильну проекцію можна бути впевненим, що об'єкти на карті будуть представлені точно [4].

### 3.3. Трансформування референцної системи координат УСК-2000 у середовищі Digital

Для опису різних систем координат у Digital використовують систему точок відліку у файлі Datums.ini. Кожен датум містить параметри для перетворення прямокутних координат за широтою і довготою у системі координат WGS-84 для цієї системи координат. Опис системи координат також містить параметри її еліпсоїда, а саме для WGS-84, або Красовського, а також для систем, що ґрунтуються на еліпсоїді Красовського, наприклад, СК-42 та СК-63, враховуючи набір коефіцієнтів Гельмерта для перетворення у систему координат WGS-84.

Земний еліпсоїд WGS-84 є основою для будь-якої цифрової системи координат. Саме він є основою для перерахунку координат. Тому навіть під час конвертації з СК-42 у СК-63 спершу визначають широту і довготу для WGS-84 із прямокутних координат СК-42, а потім із цих широти і довготи визначають координати для системи координат СК-63.

Коефіцієнти Гельмерта використовуються, як для прямого, так і для зворотного перетворення, але якщо вони однакові на обидві дати, то спотворення не відбувається. Коефіцієнти Гельмерта в Datums.ini становлять Helmert = 25.0 - 141 -78.5 0.0 -0.35 -0.736 0.0, що розраховують один раз для всіх регіонів. Тому точність зв'язку між СК-42, СК-63 та WGS-84 є досить низькою, а саме до 10 см.

Система координат УСК-2000 є кращою за СК-42, з новими, більш точними координатами для всіх точок. Також розраховуються коефіцієнти Гельмерта, які є більш точними для переходу до системи координат WGS-84 у межах України, ніж старі загальні коефіцієнти, що використовуються в Datums.ini.

Таким чином, проблема використання УСК-2000 зводиться до 2-ох завдань:

- 1) конвертації між УСК-2000 і СК-42, або СК-63;
- 2) перетворення між УСК-2000 і WGS-84.

Кожне з них має цифрове рішення. Через не точність систем координат СК-42 та СК-63 координати кожної точки в них мають не рівномірні похибки, які подекуди сягають кількох метрів. Те саме стосується й картографічної інформації, накопиченої до теперішнього часу в цих системах координат. Тому, єдиним способом переведення зі старої системи в УСК-2000 є використання полів перетворення. Для створення такого конверсійного поля необхідно знати координати точок прив'язки різних систем на місцевості, використовуючи версію програмного забезпечення Digital, починаючи з липня 2012 року [29].

Щоб перерахувати координати з СК-63 в 3-ій зоні необхідно створити точку прив'язки в системі координат УСК-2000 в 5-ій зоні. Для цього необхідно відкрити файл Datums.ini в папці Digital у Блокноті та знайти опис точки для відліку в системі координат СК-63 таким чином:

a = 6378245

f = 298.3

Scale = 1.0

FalseEast = 300000

FalseNorth = -9214.688

PrimeMeridian = 22

AddZone = 1

CurrentZone = 3

ZoneSize = 3

Helmert = 25.0 -141 -78.5 0.0 -0.35 -0.736 0.0

Відповідні дані необхідно скопіювати аж до кінця файлу та змінити назву у квадратних дужках на УСК-2000 із назвою району, додавши рядок Polynom = 1. Наприкінці потрібно додати список для точок пунктів ДГМ між системами СК-63 і УСК-2000. Новостворена точка координат буде мати такий вигляд:

a = 6378245

f = 298.3

Scale = 1.0

FalseEast = 300000

FalseNorth = -9214.688

PrimeMeridian = 22

AddZone = 1

CurrentZone = 3

ZoneSize = 3

Helmert = 25.0 -141 -78.5 0.0 -0.35 -0.736 0.0

Polynom = 1

TiePoint1 = X1ск63 Y1ск63 X1уск2000 Y1уск2000

TiePoint2 = X2ск63 Y2ск63 X2уск2000 Y2уск2000

...

TiePointN = XNск63 YNск63 XNуск2000 YNуск2000

За умови, що TiePoint1 = 5607267.35 3326885.690 5620372.55 5703576.59

Рекомендується, щоб за можливості, рівномірно розподілити що найменше 25-30 точок у межах району близько 1500 км<sup>2</sup>. Якщо точки прив'язки є відомі в системі СК-42, то той самий метод може бути використаний для створення точки прив'язки для системи координат УСК-2000 на основі цієї ж системи.

На основі власних GPS-вимірювань можна також розрахувати новий коефіцієнт Гельмерта для більш точного перетворення між глобальною системою і системою координат УСК-2000. Щоб використовувати цей коефіцієнт, необхідно просто змінити рядок, що позначає коефіцієнт у системі відліку, на Helmert = H2000, згідно алгоритму:

a = 6378245

f = 298.3

Scale = 1.0

FalseEast = 500000

FalseNorth = 0

PrimeMeridian = 0

AddZone = 1


Helmert = H2000

Перерахунок з системи координат СК-63 в УСК-2000 є можливим тільки на локальні дати через точки підключення, але ніхто не може гарантувати істинність, або формальність коефіцієнтів перерахунку. І тут виникає проблема не в системі координат УСК-2000, а в не точності СК-63, а саме 7-ми коефіцієнтів Гельмерта, що не можуть врахувати випадкові помилки в тисячах точок системи координат СК-42 та СК-63 по всій Україні тому, що зв'язати "криву" СК-63 з "плоскою" УСК-2000 є не можливо.

Програма DigitalS додала можливість автоматичного перерахунку карт із СК-63 в УСК-2000 і навпаки за допомогою функції меню Реєстри → Перерахувати.... Точність такого перерахунку нижча, ніж точність перерахунку за координатами відомих точок, описаного вище. Однак, вона має бути достатньою для більшості практичних застосувань.

Меню реєстрації доповнено також перерахунком між системою координат УСК-2000 і регіональною системою координат МСК. Усі необхідні для цього дати створюються автоматично. Також реалізовано інтелектуальне перетворення між старою системою СК-42 та СК-63 і новою УСК-2000/ISC. Для цього достатньо лише встановити на карті відповідну точку відліку, і всі необхідні поправки будуть автоматично врахованими під час копіювання об'єктів, або перерахунку за допомогою скриптів.

Під час перерахунку також використовується сітка поправок, розрахована на основі власних GPS-вимірювань, даних з постійних GNSS станцій та інших відомих координат [18].

У програмі DigitalS  функціонує скрипт, що перетворює координати земельної ділянки з системи координат СК-63 в УСК-2000, чи МСК та складає відомість перетворення координат (рис. 3.5).

## ВІДОМІСТЬ перетворення координат із системи СК-63 у систему МСК-46 (УСК-2000) Львівської області

Землекористувач: *гр.Шевченко Василь Васильович*

Адреса земельної ділянки: *с.Майдан, вулиця Зарічна, 14 Рибницької сільської ради Дрогобицького району Львівської області*

Координати поворотних точок меж земельної ділянки в системі СК-63			Координати поворотних точок меж земельної ділянки в системі МСК-46		
№ з/п	X	Y	№ з/п	X	Y
1	5438409.520	1284223.780	1	5447847.367	247754.427
2	5438414.300	1284236.210	2	5447852.065	247766.889
3	5438380.740	1284251.620	3	5447818.403	247782.077
4	5438377.670	1284239.610	4	5447815.412	247770.047
5	5438377.910	1284231.600	5	5447815.705	247762.039
6	5438381.380	1284223.130	6	5447819.231	247753.592
7	5438388.840	1284228.350	7	5447826.657	247758.861
8	5438398.080	1284225.340	8	5447835.917	247755.912
9	5438399.930	1284227.660	9	5447837.751	247758.244

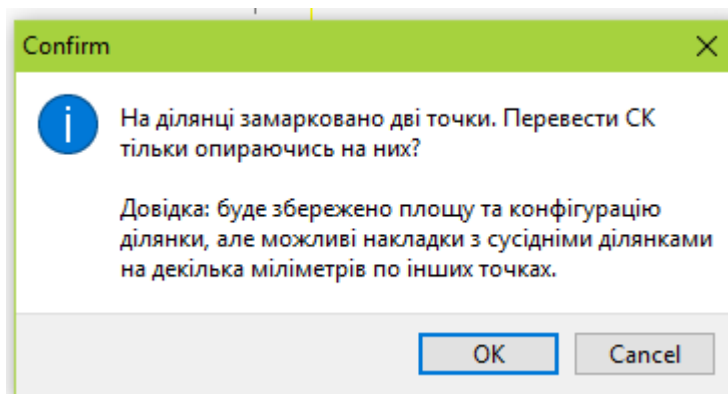
Обчислив \_\_\_\_\_ *Л. І. Іванов/*

Перевірів \_\_\_\_\_ *П. П. Петров/*

Рис. 3.5. – Результат формування відомості перетворення координат у програмі DigitalS.

Якщо інформаційна таблиця з координатами не поміщається на одній сторінці, то вона автоматично продовжиться на наступній. Особливістю оновленої версії скрипта у програмі DigitalS є можливість збереження конфігурації та площі земельної ділянки під час перетворення координат.

Щоб активувати алгоритм збереження конфігурації, площі земельної ділянки, перед запуском скрипта необхідно відзначити дві точки на відповідній земельній ділянці. Після цього з'явиться таке вікно:



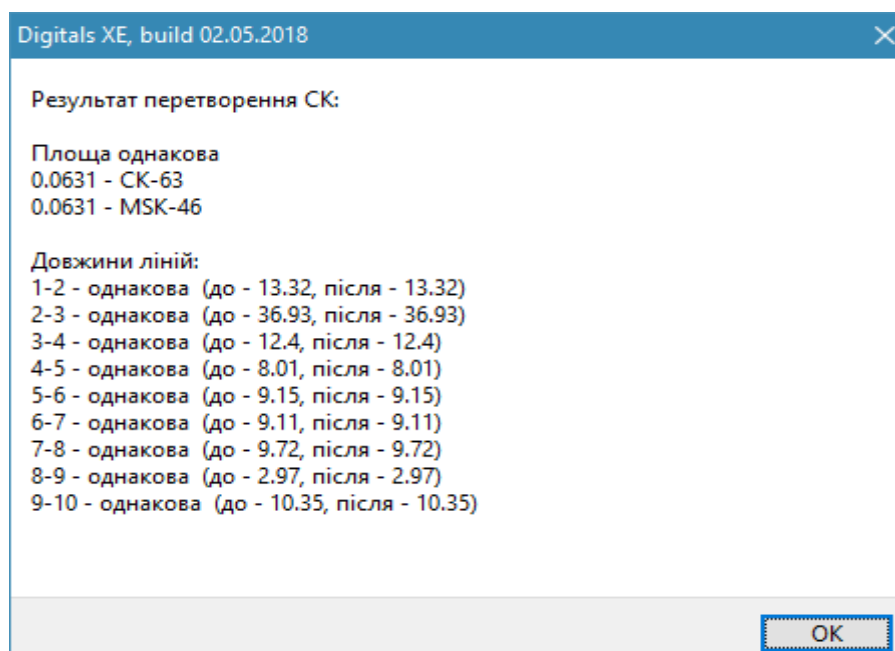
У результаті площа, довжина лінії будуть зберігатися. Однак, інші не відмічені у такий спосіб точки будуть зміщуватися на кілька сантиметрів. Якщо ділянка є переведеною в систему координат УСК-2000 і є дуже великою, то зміщення реальних координат точок може досягати десятків сантиметрів, щоб зберегти довжину. Такий варіант передбачає, що земельна ділянка ще проєктується та не має реальних координат на місцевості, але вже має рішення для інших ділянок.

Якщо ділянка довга і вузька, то рекомендується відзначити найближчу точку. Так, збережеться точність інших точок. Однак, якщо поруч розташована інша приватна земельна ділянка, то необхідно відзначити спільні з нею точки, щоб вони не зміщувалися і не накладалися на неї. Але, дозволено відзначити тільки дві точки. Якщо точки, які необхідно відзначити, мають спільну лінію, то можна просто натиснути Alt і її вибрати.

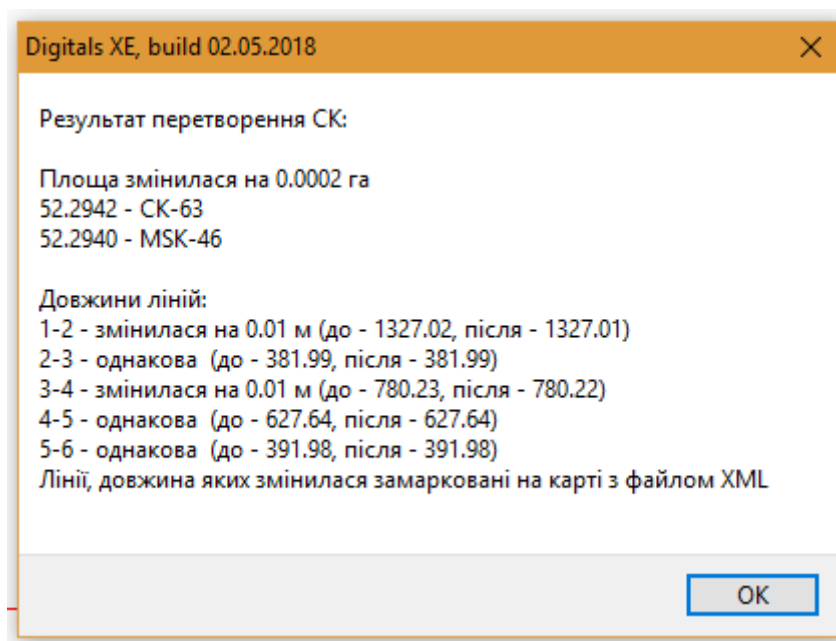
Якщо перед запуском перерахунку координат у програмі Digitals на графіку не знайдено двох відмічених точок, то перетворення координат буде виконуватися звичайним способом. Це означає, що кожна точка на графіку індивідуально перетворюється в систему координат УСК-2000, або МСК [29].


За результатами перетворення координат виводиться звіт, де міститься, якщо:

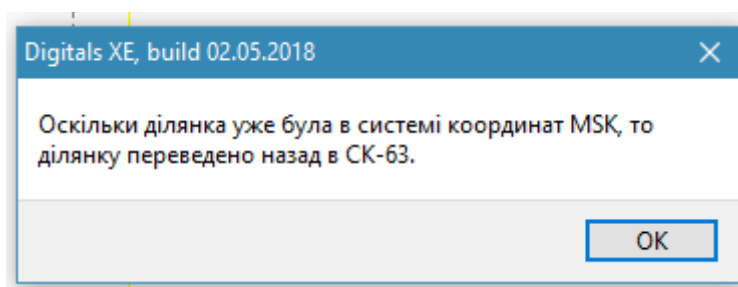
- площа і довжина однакові:




- у разі, якщо змінилися:

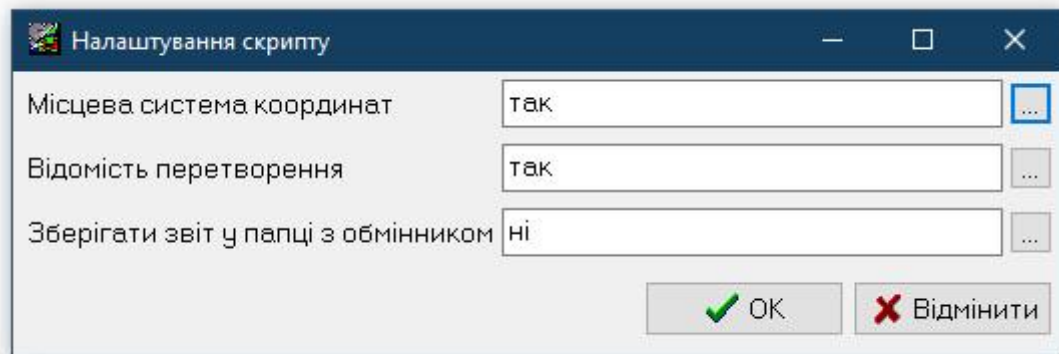


Кнопка скрипту  у програмі Digitals також виконує ще одну додаткову функцію. За умови, якщо вже існує система координат УСК-2000, або МСК до активації відповідного скрипту, то він автоматично переведе координати у систему СК-63:



Щоб змінити налаштування скрипту «СК-63УСК-2000»  у програмі Digitals необхідно створити нову цифрову порожню карту і запустити знові відповідний скрипт. У результаті з'явиться таке вікно:





Таким чином, перша опція вмикає та вимикає місцеву систему координат, щоб перетворити їх тільки в систему координат УСК-2000 [2].

У програмі DigitalS для того, щоб одержати звіт, який створює список помічених пікетів у 3-ох системах координат необхідно застосувати функцію Сервіс → Звіт → Географічні координати, у результаті чого одержимо перерахунок з (рис. 3.6):

1. прямокутної системи координат карти;
2. сферичної системи координат на еліпсоїді WGS-84;
3. сферичної системи координат на еліпсоїді Красовського – УСК-2000.

Номер пікету	MSK-51(X)	MSK-51(Y)	Z	WGS84(B)	WGS84(L)	H	УСК2000(B)	УСК2000(L)	H
1	5,096,593.56	256,271.42	58.18	46°00'07.795"	29°26'02.265"	86.49	46°00'08.513"	29°26'07.721"	58.18
2	5,096,849.28	256,480.43	58.18	46°00'16.125"	29°26'11.894"	86.49	46°00'16.843"	29°26'17.350"	58.18
3	5,096,563.47	256,599.59	58.18	46°00'06.896"	29°26'17.526"	86.49	46°00'07.613"	29°26'22.981"	58.18

Рис. 3.6. – Результат формування звіту з перерахунку систем координат у програмі DigitalS.

#### 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

При виконанні рекогносцировки геодезичних мереж вимоги безпеки в основному стосуються вибору місця спорудження геодезичного знаку в районах (об'єктах) підвищеної небезпеки, підйому на дерева і щогли для встановлення видимості, а також установа (у разі необхідності) щогл і віх на деревах для цих або інших цілей.

Вимоги безпеки, що стосуються вибору місця розташування геодезичних мереж при рекогносцируванні в населених пунктах, у районах прокладання залізниць і автомобільних шляхів, нафтогазопроводів, в аеропортах, будівельно-монтажних та інших об'єктах підвищеної небезпеки, викладені в наступних розділах посібника. У цьому розділі наведено основні вимоги безпеки, що ставляться до встановлення щогл і віх на деревах і підйому на дерева і щогли людей.

При спорудженні віх і щогл усі працівники повинні бути в захисних касках. Віхи і щогли довжиною до 8 м, діаметром у нижньому зрізі не більше 10 см дозволяється піднімати вручну з упором одного кінця в яму глибиною не менше 60 см. Віхи і щогли довжиною більше 8 м або менше 8 м, але в діаметрі нижнього зрізу більше 10 см, піднімаються тросом за допомогою корби, лебідки або інших механізмів.

Щогли, призначені для підйому на них людей, повинні мати діаметр верхнього зрізу не менше 15 см, заглиблюватися в ґрунт не менш ніж на 1,5 м і на кожних шести метрах висоти мати по чотири розтяжки, розташовані під кутом  $90^\circ$  одна до одної і закріплені на землі міцними якорями. Якщо віхи і щогли зростають зі стовбурів декількох дерев, зрости повинні мати довжину не менше двох метрів, плоску клиноподібну форму, збиватися цвяхами і скручуватися тросом не менш ніж у чотирьох місцях. Скрутки повинні розташовуватися рівномірно. У щогли необхідно, врізати шпонки, кожна з них повинна прибиватися двома цвяхами.

Віхи, що мають установлюватися на деревах, піднімаються в цілком зібраному вигляді методом наточування за допомогою троса і блоків, закріплених на дереві. Дозволяється встановлювати віхи тільки на живих деревах із здоровими стовбурами.

Підіймальні щогли, які використовують для підйому віх або щогл, повинні мати довжину не менше  $1/3$  висоти віх або щогл, що піднімаються, а діаметр у верхньому зрізі не менше 10 см при висоті віхи або щогли до 20 м і не менше 15 см при більшій висоті. Підіймальна щогла зміцнюється чотирма розтяжками: дві по осі обертання, дві по перпендикуляру до осі обертання. Лебідки, трактори, автомашины або інші механізми, що використовуються для підйому віх або щогл, повинні стояти від них на відстані, не меншій за їх потрібну висоту.

З майданчика, де повинен проводитися підйом віх або щогл, до початку роботи необхідно прибрати сухостійні і небезпечні дерева. Під час підйому віх або щогл забороняється підходити на відстань, меншу ніж півтори їх висоти. Розбивати табір і встановлювати намети для житла поблизу віх, щогл забороняється.

Підніматися дозволяється лише на живі здорові дерева, що не мають гнилизни, підсушки і тріщин, до висоти, де стовбур має діаметр не менше 10 см. Підйом на дерева слід проводити за допомогою спеціального спорядження - металевих кігтів. При підніманні необхідно користуватися страхувальним поясом з двома канатами, щоб той, хто піднімається, при перехопленні сучків одним канатом, іншим був зв'язаний з деревом.

Підйом на щогли дозволяється робити до висоти, де стовбур має діаметр не менше 15 см. Підйом проводиться тільки по шпонках або по зазделегідь вбитих костілях. При підйомі необхідно користуватися запобіжним поясом з двома канатами. При підйомі на дерева і щогли обидві руки працівника мають бути вільними від вантажу. Забороняється підніматися на дерева і щогли з вантажем на лямках за плечима масою більш ніж 6 кг.

У разі наближення грози необхідно спуститися з щогли і дерева на землю і відійти від них на відстань, не меншу за їх потрібну висоту.

Забороняється спилувати вершини дерев для встановлення на них інструментів або для кращої оглядовості.

Спорудження геодезичних знаків на дахах будівель необхідно узгоджувати з головним архітектором міста або селища, а там, де таких немає, - з органами місцевої виконавчої влади. Там же з'ясовується міцність і довговічність будівель, на яких буде здійснюватися спорудження знаків, і рекомендовані засоби страхування. Рекомендації місцевих органів є обов'язковими для виконання.

Пункти міських тріангуляцій, розташовані на дахах будівель, мають бути обладнані зручним і безпечним підходом, що дозволяє проводити підйом високоточних інструментів, і по-винні бути обладнані надійними поручнями, що забезпечують повну безпеку спостерігача.

Спорудження і ремонт геодезичних знаків, які встановлюються на дахах будівель і споруд, повинні виконуватися будівельною бригадою, що складається з кваліфікованих працівників. Вимоги щодо безпеки праці, які ставляться до персоналу, повинні відповідати попереднім вимогам.

При спорудженні геодезичних знаків на дахах будівель і споруд слід керуватися вимогами безпеки відповідних пунктів, що ставляться до спорудження дерев'яних і металевих знаків [11].

## 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Моніторинг навколишнього середовища – це система спостереження і контролю за природними, природно-антропогенними комплексами, процесами, що відбуваються в них, навколишнім середовищем загалом з метою раціонального використання природних ресурсів і охорони довкілля, прогнозування масштабів неминучих змін.

Моніторинг довкілля, екомоніторинг – це комплексна науково-інформаційна система регламентованих періодичних безперервних, довгострокових спостережень, оцінки і прогнозу змін стану природного середовища з метою виявлення негативних змін і вироблення рекомендацій з їх усунення або ослаблення.

Основна мета моніторингу – інформаційне забезпечення, необхідне для прийняття рішень в області природоохоронної діяльності та екологічної безпеки, попередження та (або) зменшення негативних наслідків впливу на стан оточуючого середовища.

Завдання моніторингу :

- оцінка меж припустимого навантаження на екосистеми;
- виявленні взаємозв'язку джерел забруднення навколишнього середовища з об'єктами живої природи, на які вони діють;
- виявленні каналів поширення забруднюючих речовин у природному середовищі;
- узагальненні одержаної об'єктивної інформації про зміну біологічних, геохімічних та геофізичних параметрів навколишнього середовища у локальному, регіональному і глобальному масштабах;
- надання достовірної та оперативної інформації, на базі якої приймаються практичні рішення по покращенню якості оточуючого середовища, стану тваринного та рослинного світу, здоров'я людини;
- розробка заходів по нейтралізації наслідків антропогенного впливу та вибір природоохоронних технологій.

Критерії класифікації моніторингу довкілля:

В залежності від компонентів оточуючого середовища:

— геофізичний, біологічний, хімічний, кліматичний, повітря, водних об'єктів, ґрунту, наземних, водних та морських екосистем та ін.

За факторам та об'єктам впливу:

— забруднень, джерел забруднень, об'єктам впливу забруднень.

За масштабами впливу:

— глобальний, регіональний, локальний, фоновий, національний, міжнародний.

За дією на здоров'я:

— моніторинг здоров'я, санітарно-гігієнічний, санітарно-токсикологічний.

За способом досліджень:

— активний і пасивний

За об'єктами спостереження:

— геоботанічний, альгологічний, зоологічний, мікробіологічний, моніторинг харчових продуктів, кормів, рослинних та тваринних тканин.

Основні рівні та розділи моніторингу навколишнього середовища:

- глобальний (біосферний) моніторинг – об'єктами спостереження є біосфера, глобально-фонові зміни (ступень радіації, концентрація CO<sub>2</sub> і озону, циркуляція теплових потоків, зміни клімату, міграція птахів, здоров'я населення на рівні держави, групи держав та ін.)

- регіональний (екологічний) моніторинг – об'єктами спостереження є екосистеми, зміна їх структури та функції, продуктивності, динаміка запасів корисних копалин, водних, земельних, рослинних ресурсів та ін.

- локальний (санітарно-гігієнічний) моніторинг – об'єкти спостереження: стан оточуючого середовища, приземні шари атмосфери, поверхневі та ґрунтові води, ґрунт; ступінь забруднення природних об'єктів шкідливими речовинами, їх вплив на людину, тваринний та рослинний світ; наявність в оточуючому середовищі змін, що викликані конкретним видом

впливу та ін.

Моніторинг складається з багатьох різноманітних методів спостереження, збору необхідних параметрів-характеристик стану середовища та їх обробки. Усю сукупність цих методів можна поділити на такі основні напрями:

–методи реєстрації та оцінки якості стану середовища (біомоніторинг, дистанційний моніторинг та ін.);

–методи кількісного обліку організмів і методи оцінки біомаси, продуктивності рослин і тварин (біологічний моніторинг);

–вивчення особливостей впливу різних екологічних чинників на життєдіяльність організмів (лабораторні методи дослідження);

–методи математичного моделювання екологічних явищ і процесів, екосистем;

–створення геоінформаційних систем і технологій для розв'язання екологічних проблем;

–комплексний еколого-економічний аналіз стану різних об'єктів;

–геоекологічні і геофізичні методи дослідження;

–технологічні методи дослідження;

–медико-екологічні методи дослідження;

–методи екологічного контролю: екологічна експертиза, екологічний аудит, екологічна паспортизація та ін.

За специфікою виконання всі дослідження можна поділити на хімічні, фізичні, біологічні, геологічні, географічні, геофізичні, математичні та інші. У зв'язку з великою кількістю видів забруднювачів та інших негативних впливів і видів об'єктів забруднювання (живі біологічні організми, люди, різноманітні екосистеми, географічні природні комплекси та багато інших) необхідне використання багатьох різноманітних приладів, часто дуже складних і дорогих, спеціальних лабораторних досліджень, використання хімічних реактивів та ін [17].

## ВИСНОВКИ

З моменту введення державної геодезичної системи координат УСК-2000 землевпорядні роботи продовжують проводитися в системі координат СК-63, що є порушенням принципів запровадження системи координат УСК-2000. Це пов'язано з неможливістю використання математичного перетворення між радянською низько точною системою координат і сучасною високо точною системою координат.

У кваліфікаційній роботі доведено, що для зручного, правильного використання систем координат у землевпорядкуванні, геодезії та виконання інших завдань у сфері земельних відносин необхідна інтеграція між системами координат, що має бути представлена математичним ключем для переходу з однієї системи координат в іншу. Якщо ця умова виконується, то таку систему координат можна назвати повною, інтегрованою системою, що немає необхідності щодо забезпечення процесу перетворення, або трансформації координат за умови визначення площі, периметру та інших характеристик геометричних елементів земельної ділянки з високою точністю.

Встановлено, що важливою проблемою під час визначення координат є вибір системи відліку. Виходячи з обов'язкового критерію, що різниця між координатами референцної станції в певний момент часу та її "реальними", або навігаційними координатами має бути не великою, зрозуміло, що використання не державних референцних систем координат є не припустимим. Для цього ми використовуємо досвід європейських країн, таких структур, як EUREF, IAG та EUPOS. У свою чергу, EUREF є узгодженою з Міжнародною системою відліку ITRS та ETRS89, як обов'язковою системою координат для всіх європейських країн.

Еталонна система ETRS89 підтримується EUREF через мережу постійних опорних станцій GNSS, координати яких регулярно визначають в ETRS89, що є першим рівнем реалізації в континентальному масштабі. На національному рівні



ETRS 89 впроваджується через наявні станції EPN у формі поступової інтеграції та вдосконалення "оригінальної" референцної системи EUREF.

Як і міжнародна наземна референцна система ITRS, ETRS 89 розробляється поетапно, причому кожен етап розвитку представлений відповідною реалізацією. Остання реалізація завжди досконаліша, ніж попередня. Надійність координат EPN залежить від загального періоду спостережень, наявності інших методів космічних спостережень.

У той же час, система координат визначається не тільки картографічною проекцією, а й датумом – математичним представленням форми земної поверхні, де точка відліку визначається сфероїдом, форма якого близька до форми Землі, і положенням сфероїда відносно центру ваги Землі. Сфероїд є близьким до форми Землі, а точка відліку визначає його положення щодо центру тяжіння Землі. Відповідно, точка відліку являє собою систему відліку для визначення положення об'єктів на поверхні Землі, що визначає початкову точку і напрямки ліній для широти і довготи.

У програмах ArcGIS, QGIS та Digitals, записуючи і зберігаючи систему координат у властивостях кожного набору даних за допомогою застосування методу проекції, точки відліку, або сфероїда можна автоматично перетворювати стан набору даних у відповідну систему координат "на льоту". Це дає змогу відображати та об'єднувати інформацію з різних наборів даних, не залежно від їхньої системи координат. Відповідні можливості розкрито у третьому розділі кваліфікаційної роботи, що можна використовувати для перетворення наборів даних і створення нових наборів даних у заданій системі координат.

Так, у програмі Digitals можна одержати перерахунок з:

1. прямокутної системи координат карти;
2. сферичної системи координат на еліпсоїді WGS-84;
3. сферичної системи координат на еліпсоїді Красовського – УСК-2000.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський В, Карпінський Ю., Кучер О., Лященко. А. Топографо-геодезичне та картографічне забезпечення ведення державного земельного кадастру. Системи координат і картографічні проекції / за заг. редакцією Ю. Карпінського. Київ, 2009. 96 с.
2. Відомість перетворення координат з СК-63 в УСК-2000 (оновлена). URL: [http://digitals.at.ua/blog/vidomist\\_peretvorennya\\_koordinat\\_z\\_sk\\_63\\_v\\_usk\\_2000\\_onovlena/2018-05-13-28](http://digitals.at.ua/blog/vidomist_peretvorennya_koordinat_z_sk_63_v_usk_2000_onovlena/2018-05-13-28).
3. Деякі питання застосування геодезичної системи координат: Постанова Кабінету Міністрів України № 1259 від 22.09.2004 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF#Text>.
4. Документація QGIS. URL: [https://docs.qgis.org/3.16/ru/docs/training\\_manual/vector\\_analysis/reproject\\_transform.html#id3](https://docs.qgis.org/3.16/ru/docs/training_manual/vector_analysis/reproject_transform.html#id3).
5. Земельний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
6. Інструкція з виконання топографо-геодезичного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500: Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 56 від 09.04.1998 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>.
7. Калинич І. В., Гриник Г. Г., Ничвид М. Р. Геодезія: навч. посібник. Ужгород, 2020. 248 с.
8. Карпінський Ю. О. Скінченно елементні моделі геодезичних вимірів: автореф. на здобуття наук. ступеня д-ра наук: спец. 05.24.01 «Геодезія». Київ, 2003. 40 с.
9. Карпінський Ю.О. Афіне трансформування координат методом скінченних елементів. Вісник геодезії та картографії. 2002. №4 (27). С. 23-27.
10. Карпінський Ю.О. Використання державної геодезичної

референцної системи координат УСК-2000 у середовищі ArcGIS ESRI. Містобудування та територіальне планування.

11. Катренко Л.А., Пістун І.П. Охорона праці в галузі освіти: Навчальний посібник. 2-ге вид., доп. Суми, 2004. 304 с.
12. Координатне інтегрування різнорідних картографічних матеріалів у по кордон [file:///C:/Documents%20and%20Settings/Admln/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/vgtk\\_2010\\_6\\_11.pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/Admln/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%20%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%8B/Downloads/vgtk_2010_6_11.pdf).
13. Літнарівч Р. М. Геодезія. Планові державні геодезичні мережі. Чернігів, 2002. 71 с.
14. Могильний С. Г., Войтенко С. П. Геодезія. Частина перша. Друге видання, виправлене та доповнене. Донецьк, 2003. 458 с.
15. Островський А. Л. та ін. Геодезія. Частина друга. Львів, 2008. 564 с.
16. Островський А. Л., Мороз О. І., Тартачинська З. Р., Гарасимчук І. Ф. Геодезія. Частина перша. Топографія. Львів, 2011. 440 с.
17. Охорона навколишнього середовища. Біологічна та екологічна безпеки [URL: https://mc.if.ua/files/bzd/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F\\_13\\_2.docx](https://mc.if.ua/files/bzd/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F_13_2.docx).
18. Перерахунок УСК-2000 у Digital. <http://www.geosektor.com/ua/faq/pererahunok-usk2000-v-digitals>.
19. Порядок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою. Науково- виробничий журнал. Землевпорядний вісник. 2017. № 2. С. 61-64.
20. Про затвердження Порядку щодо використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при виконанні робіт із землеустрою: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України № 509 від 02.12.2016 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#Text>.
21. Про топографо-геодезичну, картографічну діяльність: Закон України

№ 353-XIV від 23.12.1998 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>.

22. Рижок З. Р., Поляковська Л. Л., Ступень Р. М., Колодій П. П. Математична обробка геодезичних вимірів: навч. посібник. Львів, 2020. 179 с.

23. Рижок З.Р. Застосування систем координат у структурі геопросторових даних. Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XXII Мінар. наук.-практ. форум. (м. Львів, 5-7 жовтня 2021 р.). Львів, 2021. С. 22-25.

24. Рижок З. Р. Методика створення та візуалізації картографічних даних з використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем. Вісник Львівського національного аграрного університету: архітектура і сільськогосподарське будівництво. 2021. №22. С. 174-178.

25. Розроблення програмно-методичного комплексу трансформування координат з існуючої місцевої системи координат м. Києва, утвореної від СК-42, до нової місцевої системи координат м. Києва (МСК – 80), утвореної від УСК-2000: технічний звіт на виконання робіт. Київ, 2015.

26. Черняга П. Г., Бялик І. М., Янчук Р. М. Супутникова геодезія: навч. посіб. Рівне, 2013. 222 с.

27. Черняга П. Г., Бялик І. М., Янчук Р. М. Супутникова геодезія: навч. посіб. Рівне, 2009. 150 с.

28. Шумаков Ф. Т. Супутникова геодезія: конспект лекцій для студентів 4 курсу денної форми навчання, спец. 7.070900 «Геоінформаційні системи та технології». Харків, 2009. 88 с.

29. Digitals. Геодезія, картографія та землевпорядкування. URL: <http://digitals.at.ua/>.

30. Ryzhok Z., Stupen R., Stupen N., Stupen O. Methodology of using ArcGIS Online for land resources management in territorial communities. International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2023», October 2-4, 2023, Vol. 2023. URL: <https://openreviewhub.org/geoterrace/paper-2023/methodology-using-arcgis-online-land-resources-management-territorial>.

31. Stupen N., Ryzhok Z., Stupen M., Stupen O., Stupen R. Analysis of the Interrelations Between Elements of Geoinformation System Structure. Computer Science and Information Technologies: XV International Scientific and Technical Conference (Zbarazh-Lviv, Ukraine, 23-26 September, 2020). Zbarazh-Lviv, Ukraine, 2020. P. 88-91. URL: [http://www.ipm.lviv.ua/cmits6/programme\\_conference\\_csit2020.pdf](http://www.ipm.lviv.ua/cmits6/programme_conference_csit2020.pdf).