

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

к.г.н., доцент

_____ Ірина ЛЕОНІДОВА

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття магістерського рівня вищої освіти

Освітньої програми «Геодезія та землеустрій»

За спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ КООРДИНАТ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ В УКРАЇНІ

Науковий керівник: доцент, к.е.н.

_____ Оксана МАЛАЩУК

Рецензент:

Виконав здобувач денної форми навчання

Євгеній ЧЕРНОКУЛЬСЬКИЙ

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень. Використання
ідей і текстів інших авторів має посилання
на відповідне джерело.*

_____ Євгеній ЧЕРНОКУЛЬСЬКИЙ

Одеса - 2023

РЕФЕРАТ

Дослідження систем координат для виконання топографо-геодезичних робіт в Україні. ЧЕРНОКУЛЬСЬКИЙ Є.О. Кваліфікаційна робота. ОДАУ, кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру. 2023. 70 с. текстової частини, 7 таблиць, 47 літературних джерел.

Текстова частина включає: вступ, огляд нормативних документів і спеціальної літератури за темою кваліфікаційної роботи, дослідження референцних систем координат, технологія координатного перетворення та трансформування при геодезичних роботах, висновки, список використаної літератури.

Ключові слова: системи координат, система відліку, УСК-2000 (Державна геодезична референцна системи координат України) WGS84 (Світова геодезична система відліку 1984 року), СК42 (Система геодезичних координат 1942 року), СК63 (Умовна система координат 1963 року), ITRF (Міжнародна Земна референцна система), ITRS (Міжнародна Земна референцна система), координатне трансформування, координатне перетворення.

В кваліфікаційній роботі в повному обсязі досліджено референцні системи координат для виконання топографо-геодезичних робіт в Україні.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ І СПЕЦІАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	7
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕФЕРЕНЦІЙНИХ СИСТЕМ КООРДИНАТ.....	18
2.1.Дослідження систем відліку супутникових геодезичних навігаційних систем.....	19
2.2.Референційні системи координат, які використовуються в Україні.....	29
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЯ КООРДИНАТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА ТРАНСФОРМУВАННЯ ПРИ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБОТАХ.....	43
3.1.Трансформація систем координат.....	43
3.2. Технологія координатного перетворення та трансформування між основними системами координат, що застосовуються в Україні.....	51
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

ВСТУП

Загальна постановка проблеми та актуальність теми. Просторове розташування положення точки (чи будь-якого об'єкту) на поверхні Землі або біля неї може бути описане за допомогою координат. Їх однозначність можлива за умови повної визначеності референцної системи координат, до яких вони належать. Як відомо, референцна система складається з поверхні відносності та з системи координат. В світі існує багато різних референцних систем координат. В кожній з них координати місцеположення одного і того ж самого об'єкту будуть різними, це пов'язано з відмінностями взятих за основу поверхонь відносності в цих референцних системах. Для інтерпретації отриманих координат необхідно знати до якої системи віднесені ці координати, а також математичну модель цієї системи. При переході із однієї системи в іншу необхідно знати параметри зв'язку між ними.

Нині під час геодезичних робіт застосовують декілька різних типів геодезичних систем координат: СК-42/СК-63, УСК-2000, місцеві системи координат районів і міст. Основне завдання, що розв'язується під час встановлення системи координат – забезпечення математичного зв'язку між величинами, які вимірюються на фізичній поверхні Землі, та їх відображенням на математичній поверхні. У земельному кадастрі застосування проекції Гаусса-Крюгера у площинних прямокутних координатах зумовлене декількома причинами:

- по-перше, необхідністю передавання даних у єдиній системі координат на усій території України;
- по-друге, багаторічними традиціями і поглядами, на принципи створення координат, що склалися простотою алгоритму, наявністю численних інструкцій і рекомендацій.

Розвиток інфраструктури використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 передбачає створення необхідних умов для ефективного виконання топографо-геодезичних, картографічних,

кадастрових та інших завдань, розвитку геоінформаційних систем і технологій, включаючи методичне, програмне, інформаційне, технічне та організаційне забезпечення. Одним з основних напрямів розвитку використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 є впровадження її компонентів в середовище різноманітних геоінформаційних систем.

Мета даної кваліфікаційної роботи: проаналізувати та дослідити референцні системи координат для виконання топографо-геодезичних робіт в Україні.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи референцні системи координат, які діють на території України.

Методи дослідження. Для виконання кваліфікаційної роботи застосовували методи математичного аналізу та статистичні методи математичного опрацювання геодезичних спостережень, а також методи математичного моделювання.

Основні завдання кваліфікаційної роботи:

1) огляд нормативних документів і спеціальної літератури в галузі геодезії, які регламентують використання систем координат для виконання топографо-геодезичних робіт в Україні;

2) дослідження систем відліку й координат супутникових геодезичних навігаційних систем

3) аналіз референцних систем координат, які використовуються в Україні;

4) вивчити методи координатного трансформувannya та координатного перетворення систем координат;

5) опанувати технологію координатного перетворення та трансформувannya між основними системами координат, що застосовуються в Україні.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ І СПЕЦІАЛЬНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було опрацьовано нормативні та законодавчі акти в галузі геодезії, які регламентують використання систем координат для виконання топографо-геодезичних робіт в Україні:

- 1) Закон України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність» N 353-XIV від 23.12.1998 р. [33];
- 2) Постанова КМУ від 22.12.1999. №2359 «Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84» [31];
- 3) Постанова КМУ від 22.09.2004. №646 «Деякі питання застосування геодезичної референтної системи координат» [11];
- 4) Постанова КМУ «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” №646 від 07.08.2013р. [12];
- 5) Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства № 509 від 02.12.2016 року затверджено «Порядок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК2000 під час здійснення робіт із землеустрою» [32].

Першочерговим нормативно-правовим актом, в якому прописані основні положення щодо проведення топографо-геодезичних робіт є *Закон України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність”*, який використовують для регулювання відносин у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності для забезпечення потреб держави і громадян результатами топографо-геодезичної і картографічної діяльності [33].

Сучасна побудова геодезичної мережі базується на постулатах *Постанови КМУ «Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” і*

висвітлює питання: структури Державної геодезичної мережі України, видів робіт при її проектуванні та побудові; системи відліку координат і часу; геодезичного моніторингу Державної геодезичної мережі; математичного оброблення результатів вимірювання та каталогізацію пунктів Державної геодезичної мережі. В даній постанові відмічається: «Геодезична (планова) мережа забезпечує поширення на території країни Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 (далі-УСК-2000), яка застосовується як єдина система координат... Для забезпечення топографічних та кадастрових зйомок у масштабах 1:5000 і більше використовуються прямокутні координати у триградусних зонах. Осьовими меридіанами триградусних зон є меридіани з довготами 21°, 24°, 27°, 30°, 33°, 36°, 39°» [12].

Постанова КМУ «Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84» включає її у використання в Україні: «З метою інтеграції України в світову та європейську економічні системи... прийняти для використання на території України Світову геодезичну систему координат WGS-84. Покласти на Державну службу з питань геодезії, картографії та кадастру відповідальність за впровадження та використання в Україні геодезичної системи координат WGS-84» [31].

Постанова КМУ «Деякі питання застосування геодезичної референцної системи координат» регламентує використання даної системи до використання, зокрема: «Виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт починаючи з 1 січня 2007 р. здійснюватиметься із застосуванням Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000. Під час проведення міжнародних досліджень, в яких бере участь Україна, зокрема глобальних геодинамічних та сейсмічних процесів, вивчення фігури Землі, в космічній і транспортній галузях застосовується міжнародна загальноземна референцна система координат ITRS» [11].

Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства № 509 від 02.12.2016 року затверджено «Порядок використання Державної геодезичної

референцної системи координат УСК-2000 під час здійснення робіт із землеустрою» [32], яким встановлюється, що координатною основою під час здійснення робіт із землеустрою є Державна геодезична референцна система координат УСК-2000. Відповідно до цього порядку принципами застосування системи координат УСК-2000 є:

- застосування досвіду інших країн відносно впровадження системи координат;
- використання суворих арифметичних засобів щодо координатних операцій (трансформація, перетворення) у випадках трансформування до більш точних систем;
- використання координатних систем має враховувати територіальний та адміністративний устрій України;
- застосування до ведення Державного земельного кадастру (ДЗК) вже існуючої технічної, програмної та нормативно-методичної інфраструктури.

Порядок [32] визначає терміни приведені на рис. 1. 1.

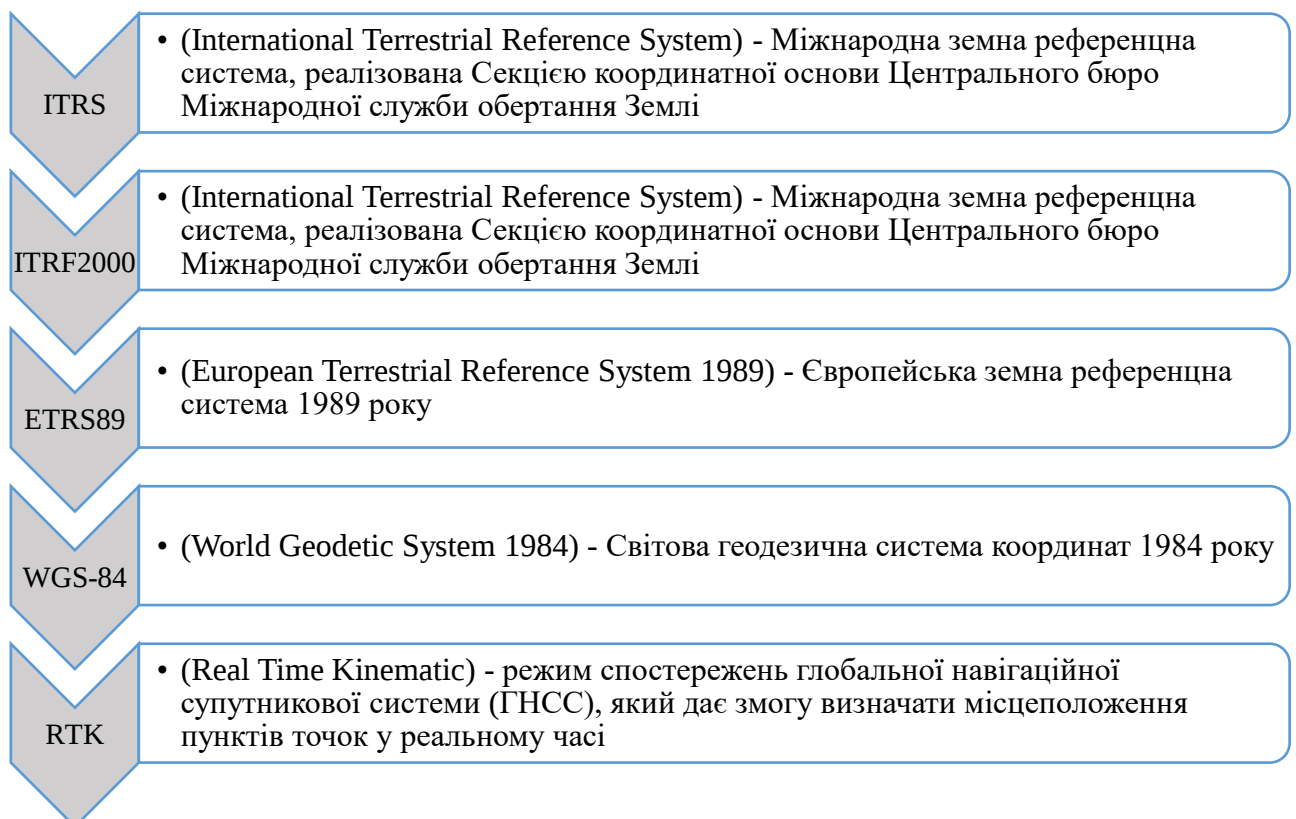


Рис.1.1. Терміни порядку про використання систем координат [32]

Таким чином роботи із землеустрою мають виконуватися в системах координат, пов'язаних з УСК-2000 або безпосередньо в даній системі координат. Інші елементи, встановлені в порядку [32] використання даної системи описані на рис. 1.2.

Системи координат, які застосовуються при здійсненні робіт із землеустрою та використання системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою		
Координатною основою при здійсненні робіт із землеустрою є Державна геодезична референсна система координат УСК-2000 (далі - 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. Нормальні висоти геодезичних пунктів визначаються в Балтійській системі висот 1977 року, вихідним початком якої є нуль Кронштадтського футштока. Система координат УСК-2000 на місцевості закріплена пунктами ДГМ. Роботи із землеустрою виконуються в системі координат УСК-2000 або місцевих системах координат, однозначно зв'язаних із системою координат УСК-2000.	Геодезичною основою при здійсненні робіт із землеустрою є: пункти ДГМ 1-3 класів; пункти геодезичних мереж згущення (далі - ГМЗ) 4 класу, 1 та 2 розрядів; пункти знімальної геодезичної мережі. Координати пунктів ДГМ, ГМЗ та поворотних точок меж геопросторових об'єктів визначаються: -геодезичними (еліпсоїдальними) координатами - широта (В), довгота (L), висота (Н); -прямокутними координатами (х, у) в проекції Гаусса - Крюгера в системі координат УСК-2000 або місцевих системах координат, що однозначно зв'язані із системою координат УСК-2000. Паспорти місцевих систем координат затверджуються наказами Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру на територію Автономної Республіки Крим, території областей, міст Києва і Севастополя.	Місцеві системи координат застосовуються для ведення державного земельного кадастру на території, на яку поширюється система координат. 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. Координати пунктів ГМЗ визначаються: -спостереженнями ГНСС; -ГНСС у статичному режимі; -побудовою лінійно-кутових мереж, прокладанням полігонометричних ходів 4 класу, 1 та 2 розрядів. -спостереженнями ГНСС у статичному режимі; -спостереженнями ГНСС у режимі мережевого RTK; -побудовою лінійно-кутових мереж та прокладанням полігонометричних ходів.

Рис. 1.2. Елементи використання системи УСК-2000

Навчальний посібник «Геодезія» Романчука С.В., Кирилюка В.П., Шемякіна М.В. розкриває відомості відносно прямокутної системи координат Гауса-Крюгера. Розділи 11-20 висвітлюють методи побудови планових геодезичних мереж, координатні площини [35].

Стаття Мазурак І.І. досліджує системи координат, що використовуються на території України для різних цілей (виконання топографічних, супутникових та геодезичних робіт). Стаття аналізує координатні системи на території України. Автор вказує завдання впровадження системи координат УСК-2000 відносно топографо-геодезичної сфери, трансформації картографічних елементів, відповідно до актуальної системи координат та зв'язку з локальними системами координат.

Дана наукова робота висвітлює основні теоретичні положення відносно систем координат, їх використання, класифікацію за ознаками прямо- чи криволінійності, за ознаками взаємного розташування прямо- чи косокутності. Надаються теоретичні відомості відносно призначення координатних систем, видів поверхонь, даних для розміщення об'єктів.

В кінці визначаються системи координат, що функціонують на території України (СК-42, СК-63, УСК-2000) та підводиться підсумок відносно використання системи координат (УСК-2000), її переваги та проблеми при застосуванні [26].

Характеристика систем координат, які використовуються на території України приведена на рис. 1.3.

Системи координат		
Система координат 1942 року (СК-42) – референсна система прямокутних координат на площині, яка базується на використанні конформної проекції Гаусса-Крюгера. СК-42 формується простим діленням території на шестиградусні (триохградусні) зони. Осьовий меридіан першої зони має довготу 3°. У кожній шестиградусній зоні визначена своя система координат. Вісь Y співпадає з проекцією екватора, а вісь X – з проекцією осьового меридіана. У кожній зоні для осьового меридіана $Y = N_{\text{зони}} * 1000000 + 500000$ м. +	Система координат 1963 року (СК-63) ґрунтується на триградусних зонах, є відкритою системою і у відповідності до раніше діючих нормативно-технічних документів, рекомендувалась як основна для кадастрових знімків. Практичне застосування СК-63 ускладнювалось проблемою розташування великих об'єктів картографування у кількох зонах, а також "таємністю" параметрів переходу ("ключів") від державної системи координат СК-42 до СК-63 при відкритості безпосередньо координат у СК-63. Це була спеціально спотворена система координат, яка базувалася на проекції Гаусса-Крюгера і системі координат 1942 року.	Для забезпечення виконання топографо-геодезичних, землепорядних і картографічних робіт на території України служить Державна геодезична референсна система координат УСК-2000, яка застосовується як єдина система координат. Ця система отримана в результаті сумісного вирівнювання вимірювань пунктів Української перманентної мережі спостережень Глобальних навігаційних супутникових систем і ДГМ 1-4 класів на епоху 2005 р. За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 приймається референц-еліпсоїд Красовського. Система координат УСК-2000 має однозначний геодезичний зв'язок з Міжнародною загальноземною референсною системою координат ITRS на епоху 2000 року – ITRF2000, яка закріплена пунктами космічної геодезичної мережі. Нормальні висоти геодезичних пунктів визначаються в Балтійській системі висот 1977 року, вихідним початком якої є нуль Кронштадтського футштока.

Рис. 1. 3. Характеристика систем координат, що використовують на території України [26]

Стаття (Заєць І.М., Карпінський Ю.О.) [16] розглядає використання УСК- 2000 у сфері державного земельного кадастру та необхідності нормативно-правового регулювання у даній сфері. В даній науковій роботі висвітлюються шляхи створення нової системи координат за допомогою суміщення елементів геодезичної мережі з відомими координатами. Описуються етапи формування УСК-2000 та трансформаційні процеси пов'язані з нею. Принципи використання системи координат УСК- 2000 розглянуті в даній статті показані на рис. 1.4.

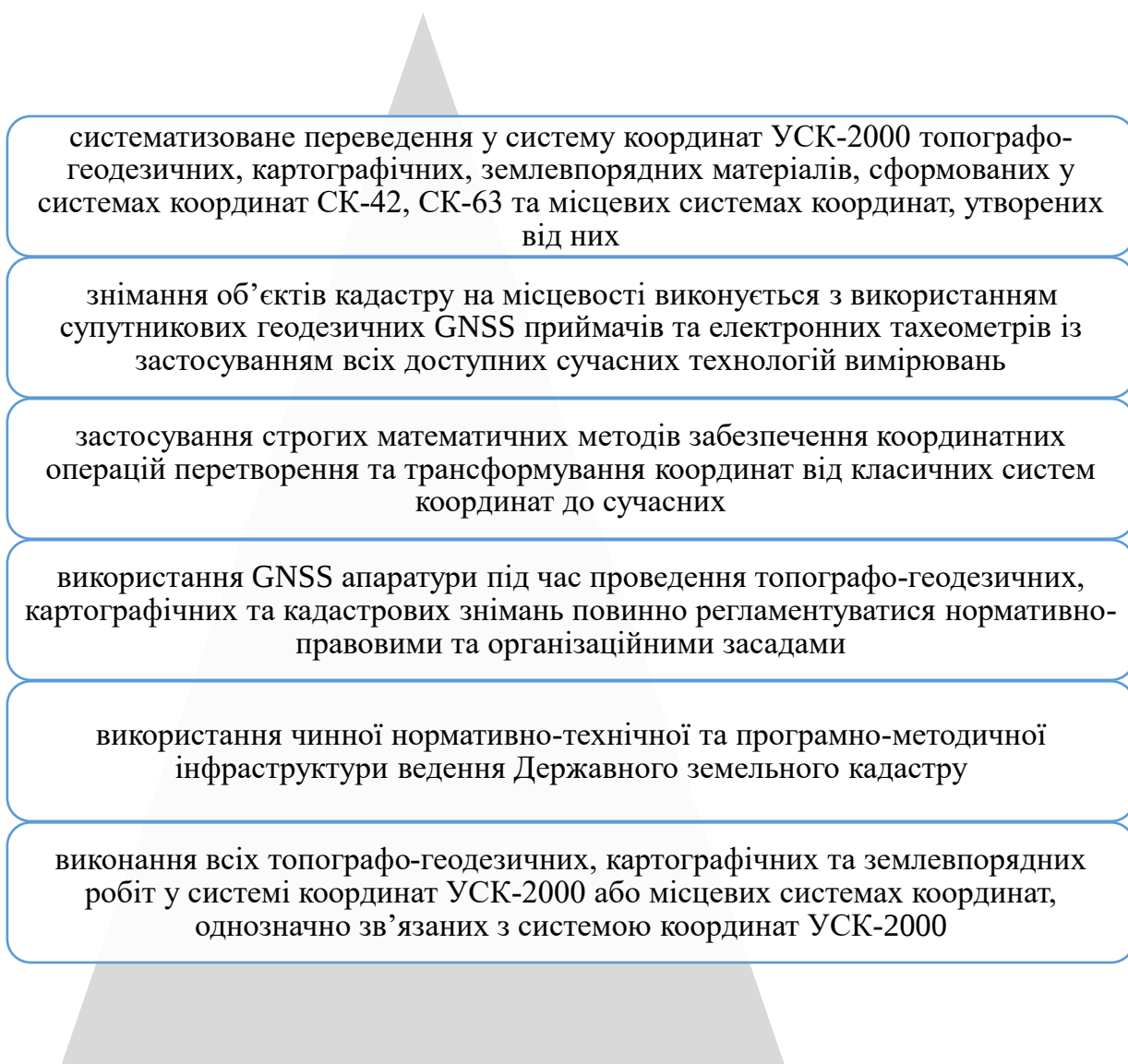


Рис. 1.4. Принципи використання УСК-2000 [16]

Стаття (Кучер О. В., Куриляк І. С. [25]) описує фактори та вимоги щодо трансформування координат, елементи, що впливають на якість даної процедури, та детальне їх дослідження. Дана наукова робота базується на нормативно-правовій основі відносно застосування геодезичної референцної системи координат та вказує завдання відносно впровадження системи УСК-2000 з трансформуванням картографічних елементів відповідно до неї.

Стаття досліджує теоретичні положення відносно координатних операцій, спотворення при переведенні в УСК-2000 точок координатних систем СК-42 та висвітлює параметри трансформації, зокрема, щільність суміщення точок, їх точність, розміщення та власне спосіб трансформації.

Способи трансформування з статті вказані на рис.5.

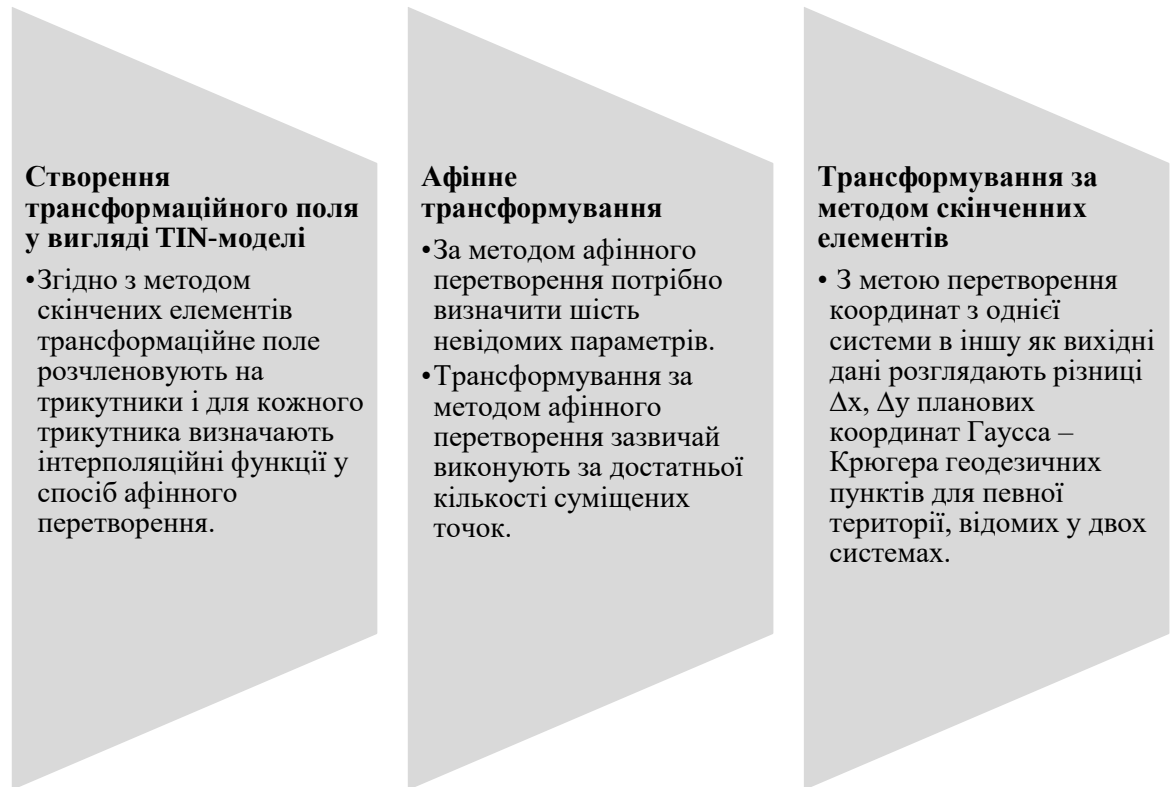


Рис. 1.5. Способи трансформування координат [25]

Стаття (Аврамчук Б.О., Патюк О.О.) розглядає питання можливих помилок при передачі земельних ділянок при переході до єдиної системи координат. Дана наукова робота досліджує зміни в результаті спотворення довжин ліній та кутів, як наслідки переходу до системи УСК- 2000 та можливі нормативно-законодавчі порушення що можуть виникати за зміни площ земельних ділянок. Автор зазначає, що земельне законодавство потребує покращень через проблеми з використанням УСК-2000, зокрема, не відповідність площ відносно більш старих систем координат [1].

Наочно спотворення кутів висвітлене в даній роботі показано на рис. 1.6.

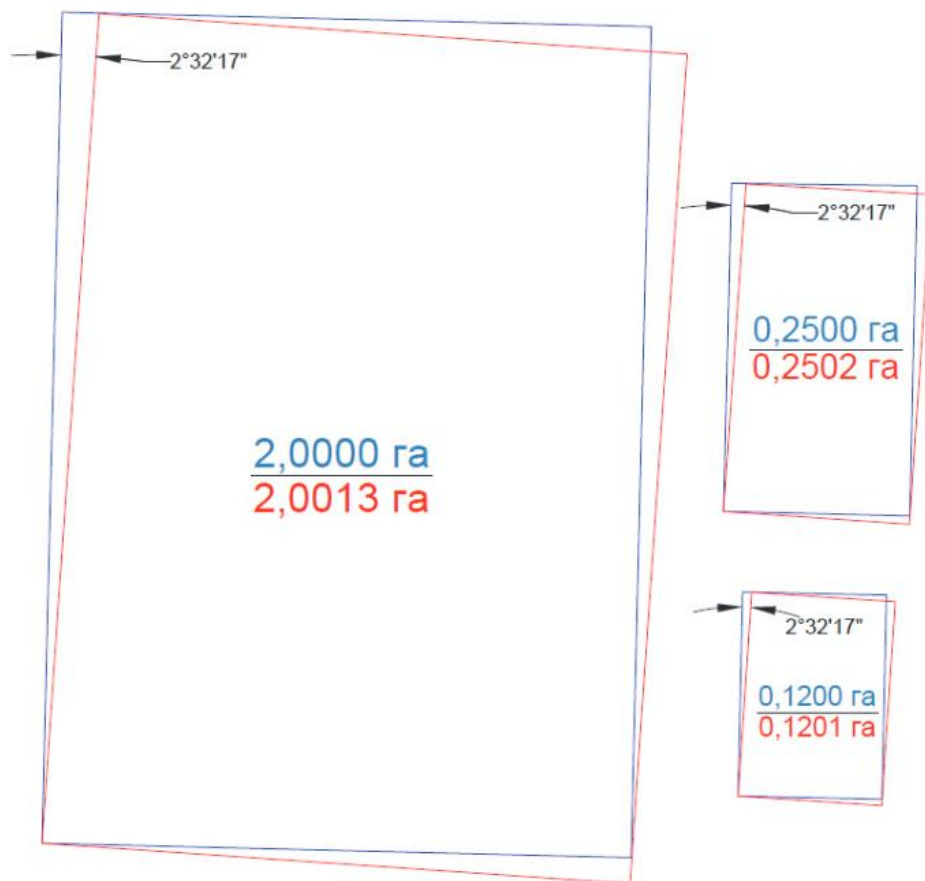


Рис. 1.6. Спотворення при трансформуванні [1]

Стаття Карпінського Ю.О. досліджує використання системи координат УСК-2000 в програмному забезпеченні ArcGIS (ESRI). Стаття звертає увагу на необхідність утворення оптимальних умов для виконання геодезичних завдань у сфері землеустрою з врахуванням розвитку геоінформаційного програмного забезпечення. В даній науковій статті висвітлено кількість місцевих систем координат, від яких похідних вони були створені та проблеми, що були створені у результаті використання даних систем. У великій кількості випадків це призвело до спотворення координат ділянок та проблем з їх трансформацією у сучасні системи (УСК-2000). В підсумку статті описується ефективність програмного забезпечення ArcGIS та доречність його використання у сферах пов'язаних із землепорядкуванням [21].

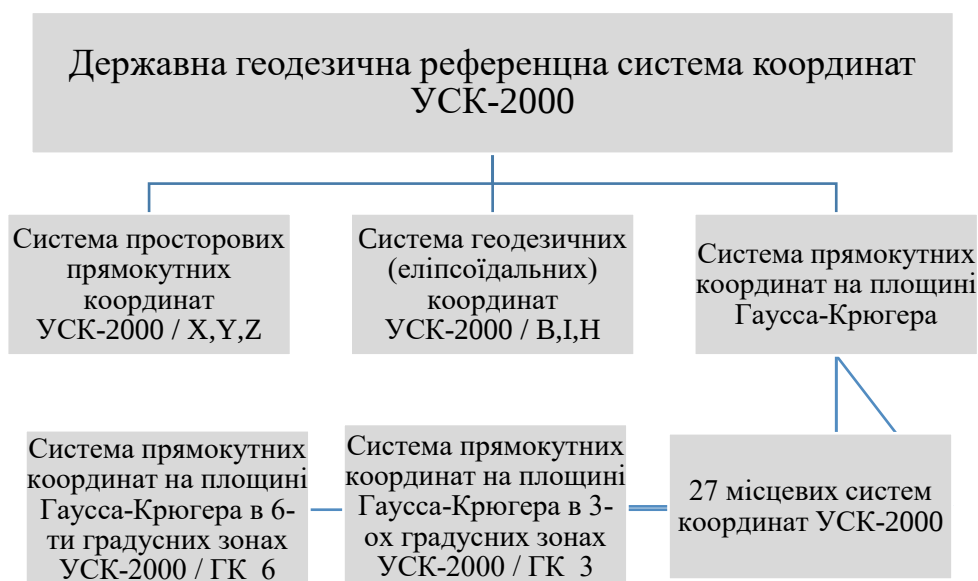
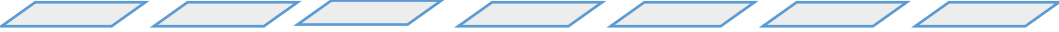


Рис. 1.7. Структура системи координат УСК-2000 [21]

Стаття Ковальчука В.С. розглядає зв'язок світових систем координат з державною системою координат, що запроваджена в Україні (УСК- 2000). В даній науковій роботі розкриваються причини переходу на більш сучасні системи координат (УСК- 2000), переваги даної координатної системи, її функціональність та історія виникнення. В кінці даної статті автор підводить підсумок щодо результатів та проблем впровадження системи координат УСК-2000. Проблемами є невідповідна якість картографічних матеріалів при трансформації з СК-63 в сучасну УСК-2000 [22]. Відомості про УСК-2000 зазначені на рис. 1.8.

Сучасний рівень розвитку землепорядного виробництва вимагає запровадження нових більшточних, мобільних та зручніших систем визначення просторових координат і створення геодезичних мереж. Тому сьогодні і виникла необхідність переходу на нову геодезичну систему УСК-2000. Вона в повній мірі відповідає сучасним технологіям і системам координат, прийнятим у розвинених країнах світу. Введення УСК-2000 – це надзвичайно складна наукова і технічна робота, яка потребувала великої кількості спостережень.



Державна геодезична референсна система координат УСК-2000 встановлена для забезпечення виконання топографо-геодезичних і картографічних робіт на території України.



Система координат УСК-2000 року чітко узгоджена з Міжнародною референсною системою координат ITRS/ITRF2000 на епоху 2005 р., яка закріплена пунктами космічної геодезичної мережі. Система координат УСК-2000 закріплена пунктами Державної геодезичної мережі.



Рис. 1.8. Відомості про УСК-2000 [22]

Стаття Радченко Я.І. досліджує результати трансформування координат в державну систему координат УСК-2000 відносно параметрів земельних ділянок, зокрема, лінійних, з застосування програмного забезпечення Digitals (додаток GEOTRANS) [34].

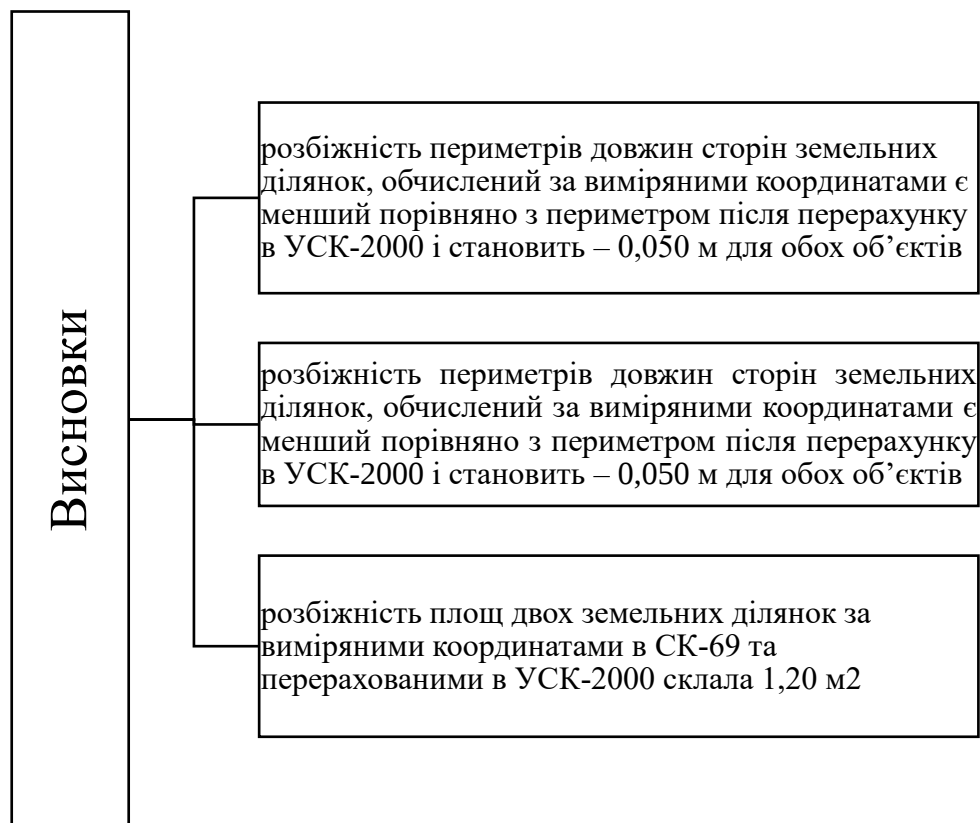


Рис. 1.9. Висновки експерименту [34]

Відповідно до розташування поворотних точок в результаті трансформації, загальна площа земельних ділянок в УСК-2000, стає меншою ніж в у системі СК-63.

Беручи до уваги все вище зазначене можна зробити висновок, на теперішній час є достатня кількість інформації, необхідної для виконання магістерської роботи. Всі питання, що стосуються магістерської роботи регламентуються нормативно-правовими документами в галузі геодезії.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕФЕРЕНЦНИХ СИСТЕМ КООРДИНАТ

2.1. Дослідження систем відліку супутникових геодезичних навігаційних систем

Положення будь-якого об'єкту на поверхні Землі може бути описане за допомогою координат. Для повного і правдивого відображення інформації за допомогою координат необхідна повна визначеність референцної системи координат, до яких вони належать. В світі існує багато різних референцних систем координат. В кожній з них координати місцеположення одного і того ж самого об'єкту будуть різними. Для усунення невідповідностей при переході з однієї системи координат в іншу необхідно знати параметри зв'язку між ними. Як правило, за геодезичну поверхню відносності приймають референц-еліпсоїд, що включає в себе визначення параметрів еліпсоїда, його положення відносно центру мас Землі та орієнтацію на тілі Землі. У будь-якій країні є, як мінімум, одна модель референц-еліпсоїда і кожна з них має свою картографічну проекцію (Ламберта, Меркатора, Гаусса-Крюгера, азимутальна та інші), яка розраховується шляхом мінімізації викривлень на територію даної країни.

На сьогоднішній день виділяють три види систем відліку: міжнародні, материкові та національні. Загальноприйнятими міжнародними системами відліку є ITRS та WGS-84. До материкових систем відліку відносять NAD83 та ETRS. Крім міжнародних та материкових, існують ще національні системи відліку, які є згущенням міжнародних та материкових систем відліку ITRS та ETRS.

Світова геодезична система WGS-84 розроблена Військово-картографічним агентством Міністерства оборони США, включає в себе параметри загальноземного еліпсоїда, модель геоїда, модель гравітаційного поля Землі, значення гравітаційної сталої, значення швидкості світла та інші важливі константи, необхідні для геодезичних вимірювань і навігації з

використанням глобальної системи координат.

Аналогом системи відліку WGS-84 є *система ITRS*, яка створена Міжнародною службою обертання Землі IERS та прийнята IAU в 1991 році. Ця система відліку обертається разом з Землею відповідно до її руху в просторі. ITRS не накладає умову обертання горизонтальних переміщень, це означає, що ця величина не прив'язана до будь-якої конкретної тектонічної плити. У такій системі розташовані на твердій поверхні Землі точки мають координати, які зазнають лише невеликих змін в часі, в зв'язку з геофізичними ефектами (тектонічні або приливні деформації).

Європейська Глобальна Система відліку ETRS89 була прийнята підрозділом Міжнародної асоціації геодезії IAG – EUREF, після першої резолюції, яка проходила в 1990 році у Франції. ETRS89 збігається з ITRS на епоху 1989.0 і прикріплена до стійкої частини Євразійської плити. Ця система рекомендована і використовується для відображення геодезичних пунктів в Європі. Оскільки 1989.0 ETRS89 і ITRS розходяться через дрейф континентів зі швидкістю близько 2.5 см в рік. На сьогодні дві системи координат відрізняються приблизно до 60 см.

Реалізацією міжнародної глобальної системи відліку ITRS є *відлікові основи ITRF*. ITRF є набором фізичних точок (станцій) з точно визначеними координатами в певній координатній системі, прикріплених до ITRS. Відомо чотири основні методи, що застосовуються для визначення ITRF-координат: GNSS, VLBI, SLR, і DORIS. Оскільки мережі спостережуваних станцій обладнані приладами, що постійно розвиваються і період даних, доступних з часом збільшується, ITRF постійно оновлюється. Тринадцять реалізацій ITRS було створено з 1988 року, останньою є ITRF2014 (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Реалізація ITRS

№	Назва	Епоха	Українські станції
1	ITRF 88	1984.0	-
2	ITRF 89	1984.0	-
3	ITRF 90	1984.0	-
4	ITRF 91	1984.0	-
5	ITRF 92	1984.0	-
6	ITRF 93	1984.0	-
7	ITRF 94	1984.0	-
8	ITRF 96	1984.0	-
9	ITRF97	1984.0	-
10	ITRF 2000	1997.0	GLSV(Голосієво, м. Київ)
11	ITRF 2005	2000.0	GLSV(Голосієво, м. Київ), UZHL (м. Ужгород), POLV (м. Полтава)
12	ITRF 2008	2005.0	GLSV(Голосієво, м. Київ), KHAR (м. Харків), MIKL (м. Миколаїв), POLV (м. Полтава), SULP (м. Львів), UZHL (м.Ужгород)
13	ITRF 2014	2010.0	GLSV (Голосієво, м. Київ), KHAR (м. Харків), KTVL (смт. Кацівелі, АР Крим), MIKL (м. Миколаїв), POLV (м. Полтава), SULP (м. Львів), UZHL (м.Ужгород)

На сьогоднішній день також є дві реалізації WGS- 84:

- стара реалізація, яка базується на військово- морській навігаційній супутниковій системі (U.S. Navy Navigation Satellite System), широко відомій як DOPPLER Transit, і надає координати станції з точністю близько одного метра.
- нові реалізації WGS84 (G730, G873, G1150 і G1674) на основі даних GPS.

У 1994 році Міністерство оборони США вперше ввело реалізацію WGS-84, яка повністю базувалася на GPS вимірах. Ця нова реалізація

відома як WGS-84 (G730), де буква G відповідає GPS, а «730» позначає номер GPS тижня. Всі нові WGS84 реалізації до G1674 збігаються з ITRF приблизно на 10-сантиметровому рівні. Проте, реалізація G1674 прийняла ITRF2008 координати і швидкості координат більше половини базових станцій. Таким чином, ITRF2008 і WGS84 (G1674) збігаються на рівні сантиметра.

Внаслідок наявності часових змін координат в ITRF, що становить до 2 см/рік для Центральної Європи, Підкомісія EUREF і VIII робоча група CERCO вибрали близько 35 європейських пунктів SLR і VLBI з мережі ITRF-89, координати яких є на епоху 1989.0, і визначили систему координат ETRF89, яка є відліковою основою ETRS89. Сім параметрів трансформації від систем ITRF різних епох до системи ETRF89 поставляються IERS.

Вважається, що система ETRF повинна бути якомога ближчою (з точністю до 1м) до супутникової всесвітньої геодезичної системи WGS-84. При використанні цих систем в навігації така точність необов'язкова, але для точних геодезичних і геодинамічних вимірювань параметри трансформації систем повинні визначатися постійно на основі GPS спостережень. Система координат ETRF89, за визначенням, обертається разом зі стабільною частиною території Європи, а зв'язки між станціями залишаються незмінними. Внаслідок цього ETRF є зручною для виконання практичних геодезичних і картографічних робіт в Європі. Недоліком системи є її обертання щодо системи ITRF (до декількох сантиметрів за рік), що ускладнює її застосування для робіт в таких областях, як супутникова геодезія, фізична геодезія і геодинаміка. Тому необхідно регулярне визначення (один раз в десять років, після закінчення яких Європа повернеться на кілька дециметрів) параметрів перетворення між системами ETRF і WGS-84. При цьому слід мати на увазі, що ITRF узгоджується з WGS-84 на рівні дециметрів, що для більшості завдань навігації такі малі відмінності несуттєві, а використання даних з декількох постійних GPS-пунктів на території Європи дозволяє легко і безперервно визначати точні

параметри перетворення між ETRF і WGS-84.

Геодезичні мережі відлікових основ. Оскільки складовими частинами кожної відлікової основи є фізичні точки (станції), то ключовими інструментами у підтримці ITRF є мережа перманентних станцій IGS, для ETRS89 – це мережа перманентних станцій EUREF – EPN, для реалізації національної системи відліку відповідно це національні референсні GNSS-мережі. Розглянемо детальніше кожну з цих мереж.

IGS (*International GNSS Service*) – добровільне об'єднання більш ніж 200 агентств, які з 1994 року займаються збором даних GPS, ГЛОНАСС та інших супутникових навігаційних систем з постійно працюючих станцій спостережень, розташованих по всьому світу [46].

Основними продуктами IGS є (табл. 2.2):

- ефемериди GNSS-супутників;
- параметри орієнтації Землі;
- координати та швидкості координат референсних станцій;
- інформація про годинники супутників та станцій;
- оцінки зенітних тропосферних затримок;
- глобальні карти іоносфери.

Таблиця 2.2.

Типи продуктів IGS

Тип даних		Точність	Час очікуван ня	Оновлення	Інтервал вибірки
1		2	3	4	5
GPS ефемериди (орбіти та годинники)					
Broadcast	орбіти	~ 100 см	В реальному у часі	-	щодня
	Суп.год.	~ 5ns RMS ~2.5ns SDev			
Ultra-Rapid (прогнозовані)	орбіти	~ 5 см	В реальному у часі	на 03, 09, 15 21 UTC	15 хв
	Суп.год.	~3ns RMS ~1.5ns SDev			
Ultra-Rapid (кінцеві)	орбіти	~ 3 см	3- 9 годин	на 03, 09, 15 21 UTC	15 хв
	Суп.год.	~150 ps RMS 50 ps SDev			
Rapid	орбіти	~ 2. 5 см	17-41 годин	В 17 год UTC щодня	15 хв
	Суп.год.	~ 75 ps RMS ~25 ps SDev			5 хв.
Final	орбіти	~ 2.5 см	12- 18 днів	Щочетверга	15 хв.
	Суп.год.	~ 75 ps RMS ~20 ps SDev			Суп: 30 сек Ст: 5 хв.
Ефемериди супутників ГЛОНАСС					
Final		~ 3 см	12-18 днів	Щочетверг а	15 хв.
Геоцентричні координати станцій спостереження					
Кінцеві координати	горизо- нтальні	3 мм	11- 17 днів	Щосереди	Щотижня
	вертикальні	6 мм			
Кінцеві швидкості координат	горизо- нтальні	2 мм/ рік	11-17 днів	Щосереди	Щотижня
	вертикальні	3 мм/рік			
Параметри орієнтування Землі					
Ultra-Rapid (прогнозовані)	Полярний рух	~ 200 μ s	В реальному у часі	на 03, 09, 15, 21 UTC	щоденні інтеграції на 00 року, 06, 12, 18 UTC
	Шв. пол. руху	~ 300 μ s			
	Довжина дня	~ 50 μ s			
Ultra-Rapid (кінцеві)	Полярний рух	~ 50 μ s	3-9 годин	на 03, 09, 15, 21 UTC	щоденні інтеграції на 00, 06, 12, 18 UTC
	Шв. пол. руху	~ 250 μ s / день			
	Довжина дня	~ 10 μ s			

Продовження таблиці 2. 2

1		2	3	4	5
Rapid	Полярний рух	~ 40 μ as	17-41 годин	в 17 UTC щодня	щоденні інтеграції в 12 UTC
	Шв. пол. руху	~ 200 μ as / день			
	Довжина дня	~ 10 μ as			
Final	Полярний рух	~ 30 μ as	11-17 днів	Щосереди	щоденні інтеграції в 12 UTC
	Шв. пол. руху	~ 150 μ as / день			
	Довжина дня	~ 10 μ as			
Атмосферні параметри					
Фінальні зенітні тропосферні затримки		4 мм	< 4 тижнів	Щодня	5 хв.
Final іоносферна карта		2-8 TEC	~ 11 днів	Щотижня	2 години (5 ⁰ х2,5 ⁰)
Rapid іоносферна карта		2-9 TEC	< 4 годин	Щодня	2 години (50х2,50)

Складові IGS є ключовими операційними елементами організації. Складові компоненти включають такі об'єкти, як: Центри обробки даних та аналізу (таблиця 2.3) [46], які забезпечують доступ до продуктів найвищої якості; Центральне бюро, яке займається щоденною адміністративною роботою IGS; Адміністративна рада та Асоційовані члени, які завдяки своїм зусиллям підтримують організацію; а також пілотні проекти та робочі групи, які постійно спрямовують організацією вперед.

Таблиця 2.3.

Центри аналізу IGS

Організація	Абревіатура	Країна
Природні ресурси Канади	EMR	Канада
Уханський університет	WHU	Китай
Геодезична обсерваторія Печни	GOP-RIGTC	Чехія
Космічне агентство CNES	GRG	Франція
Європейське космічне агентство/ESOC	ESA/ESOC	Німеччина
GeoForschungsZentrum	GFZ	Німеччина
Європейський центр визначення орбіт	CODE	Швейцарія
Лабораторія реактивного руху	JPL	США
Массачусетський технологічний інститут	MIT	США
Національна геодезична служба	NGS	США
Інститут океанографії імені Скріппса	SIO	США
Американська морська обсерваторія	USNO	США

Основою IGS є глобальна мережа з понад 400 перманентних станцій, що відстежують GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, QZSS та SBAS (рис. 2.1).

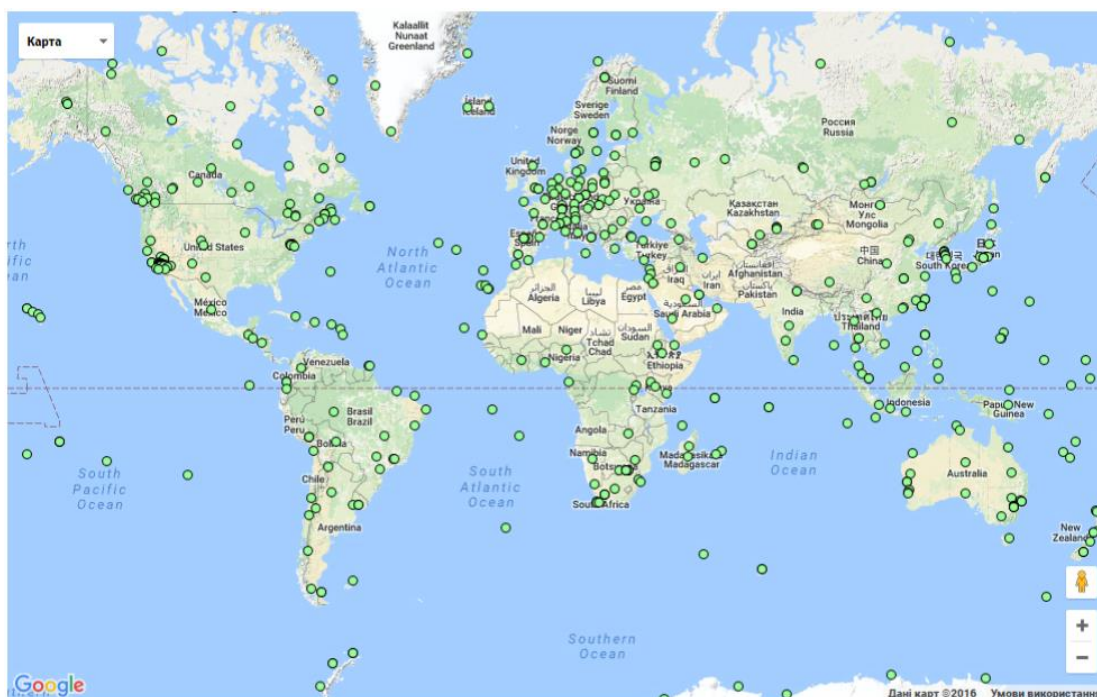


Рис. 2.1. IGS мережа перманентних станцій [47].

IGS збирає, зберігає та розповсюджує набори даних спостережень з достатньою точністю для досягнення цілей широкого кола наукових та інженерних застосувань і досліджень. Продукти IGS підтримують наукові дослідження, такі як покращення і розширення Міжнародної служби обертання Землі (IERS), Земної референцної системи (IERS), моніторинг деформацій земної поверхні, обертання Землі, визначення орбіт наукових супутників та моніторинг іоносфери. Додатковим аспектом є те, що продукти IGS слугують для ущільнення ITRF на регіональному рівні. Це досягається за допомогою строгої комбінації регіональних чи локальних мережових розв'язків, що використовують SINEX формат.

EPN (European Permanent Network) – є добровільним об'єднанням більше 100 самофінансуючих установ, університетів та науково-дослідних інститутів у більш ніж 30 європейських країнах [44]. Станом на 03 липня 2017 р. частиною Європейської мережі перманентних станцій є 321-на постійно діюча GNSS-станція (у тому числі 1 в неактивному стані) (рис. 2.2).

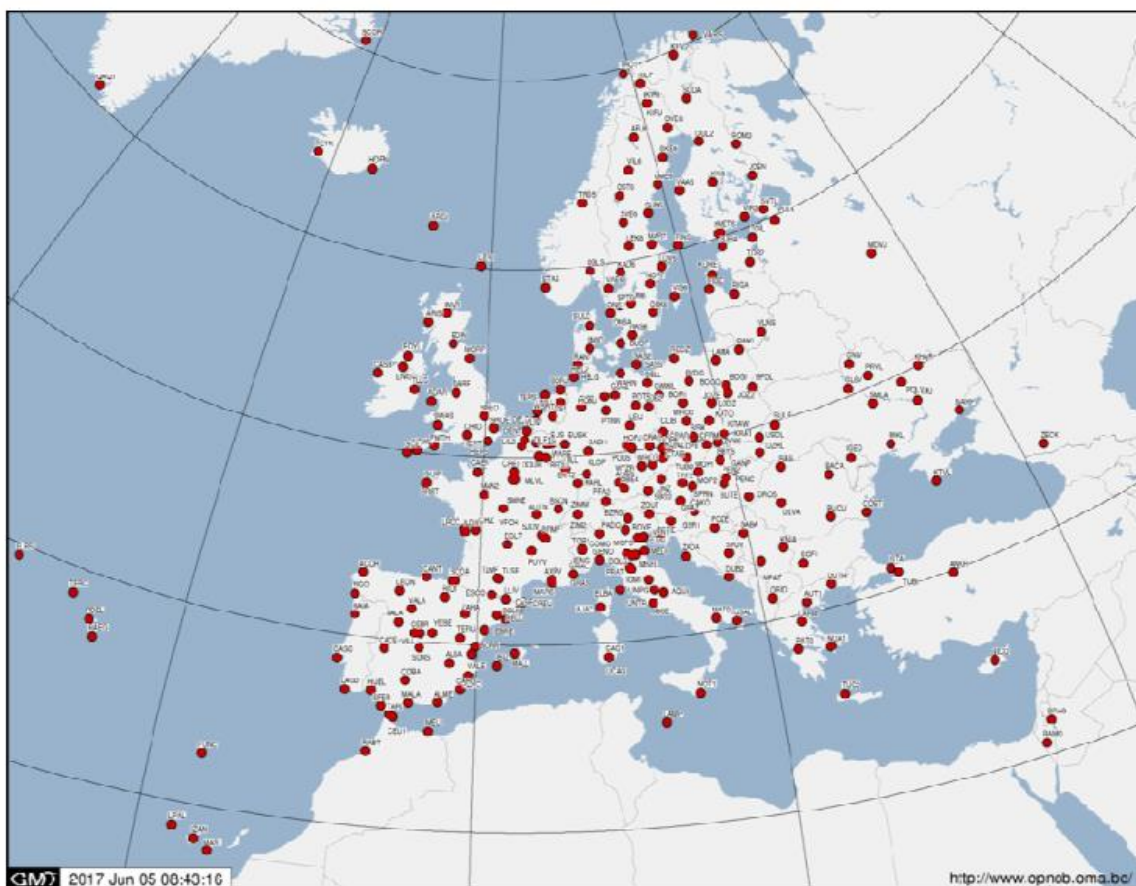


Рис. 2.2. Мережа станцій EPN [44]

В Європі, окрім станцій EPN, існують кілька сотень інших перманентних (референцних) GNSS-станцій спостереження. І з метою згущення мережі, оперативні центри аналізують спостереження переважної більшості цих станцій. Оперативні центри є агентствами, які відповідають за завантаження GNSS-даних від однієї або більше станцій спостереження до інформаційних центрів EPN (для файлових даних) та кластерів (для потоку даних в режимі реального часу). Це завантаження даних здійснюється згідно інструкції [45]. Окремі інформаційні центри, використовуючи політику відкритих даних, надають доступ до даних станцій EPN. Вони отримують дані GNSS від оперативних центрів і поширюють їх безкоштовно для користувачів:

- Щоденні і щогодинні 30 секундні дані EPN у форматі RINEX: локальні інформаційні центри (в основному національні) та регіональні інформаційні центри (виключно EPN); дані завантажують через анонімний FTP.

- Щоденні архівні 30 секундні дані EPN у форматі RINEX: архівний репозиторій (виключно EPN); дані завантажують через анонімний FTP.

- Дані EPN в режимі реального часу у форматі RTCM: локальні кластери (в основному національні) і регіональні кластери (виключно EPN); потоки даних, доступні за допомогою програмного забезпечення Ntrip-клієнт.

- Дані EPN 15-хв., близькі до реального часу 1 Гц. у форматі RINEX:

Високошвидкісний інформаційний центр; дані завантажують через анонімний FTP.

Доступ до щоденних і щогодинних даних всіх станцій EPN забезпечує інформаційний центр (RDC), який розташований в BKG (Федеральному агентстві з картографії та геодезії, Німеччина). Потоки даних в режимі реального часу надаються регіональними EUREF кастрами (RB), які розташовані в BKG (Федеральному агентстві з картографії та геодезії, Німеччина), ASI (Італійському космічному агентстві) і ROB (Королівській обсерваторії Бельгії).

Дані спостережень з EPN аналізуються на різних рівнях:

1. Локальні операційні центри (LAC) регулярно оцінюють щоденні і щотижневі позиції станцій і зенітні тропосферні затримки. Ці розв'язки використовують в якості вхідних даних для отримання щоденних/щотижневих комбінованих позицій EPN та комбінованого розв'язку тропосфери. Відповідно до правил та керуючись принципами [45], створених в рамках Міжнародної служби GNSS (IGS) і доповнених Технічною робочою групою EUREF [45], різні LAC окремо обробляють чітко визначені підмережі, на які поділяється EPN.

2. Операційні центри, що спеціалізуються на розв'язуванні окремих задач (DAC). DAC аналізують дані з GNSS- станцій (у тому числі з станцій EPN), щоб зробити внесок у продукти EPN, які знаходяться в стадії розробки, або в продукти, які створені робочими групами EUREF (наприклад, переробка, згущення, контроль тощо).

Надійність координат мережі EPN залежить від загальної тривалості спостережень та можливості використання інших космічних методів спостережень. Координати EPN- станцій доступні у двох референцних системах – ITRS та ETRS89.

2.2. Референцні системи координат, які використовуються в Україні

Система координат 1942 року (СК-42). Система координат 1942 року (Система Красовського 1942 року), була однією з геодезичних систем координат, розроблених в Радянському Союзі після Другої світової війни. Вона використовувалася для геодезичних і картографічних робіт на території колишнього СРСР та інших країнах, що були під впливом радянської системи.

СК-42 базувалася на проекції Меркатора та використовувала параметри еліпсоїда Красовського 1942 року. Система вимагала спеціального обчислення і перетворень для переведення географічних координат (широта та довгота) в плоскі прямокутні координати та навпаки. Ілюстрація СК-42 показана на рис. 2. 3.

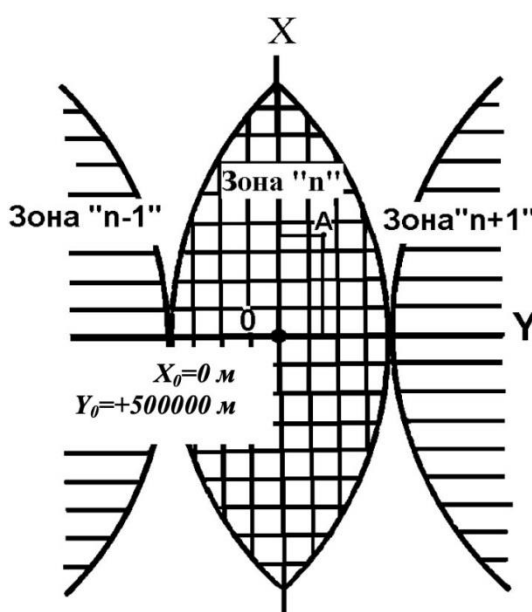


Рис. 2.3. Система координат СК- 42

На даний момент СК-42 є застарілою і замінюється більш сучасними системами координат, такими як СК-63 (Система Красовського 1963 року)

та СК-95 (Система Красовського 1995 року), а також системами, що використовуються в сучасній глобальній навігації, такими як WGS 84 (World Geodetic System 1984).

СК-42 можна охарактеризувати як систему прямокутних координат у зональній системі. У цьому випадку під зональною системою розуміється проекція Гаусса-Крюгера. Вона розділяє поверхню Землі на 60 зон, кожна з яких має ширину 6 градусів довготи.

Таким чином зони мають такі значення:

- перша зона від 0 до 6°;
- друга зона від 6 до 12°;
- третя зона від 12 до 18° і так далі.

Розташування цих зон в проекції Гаусса-Крюгера співпадає з розташуванням зон в міжнародній системі розграфлення земної поверхні на шестиградусні зони. Зони показані на рис. 2.4.

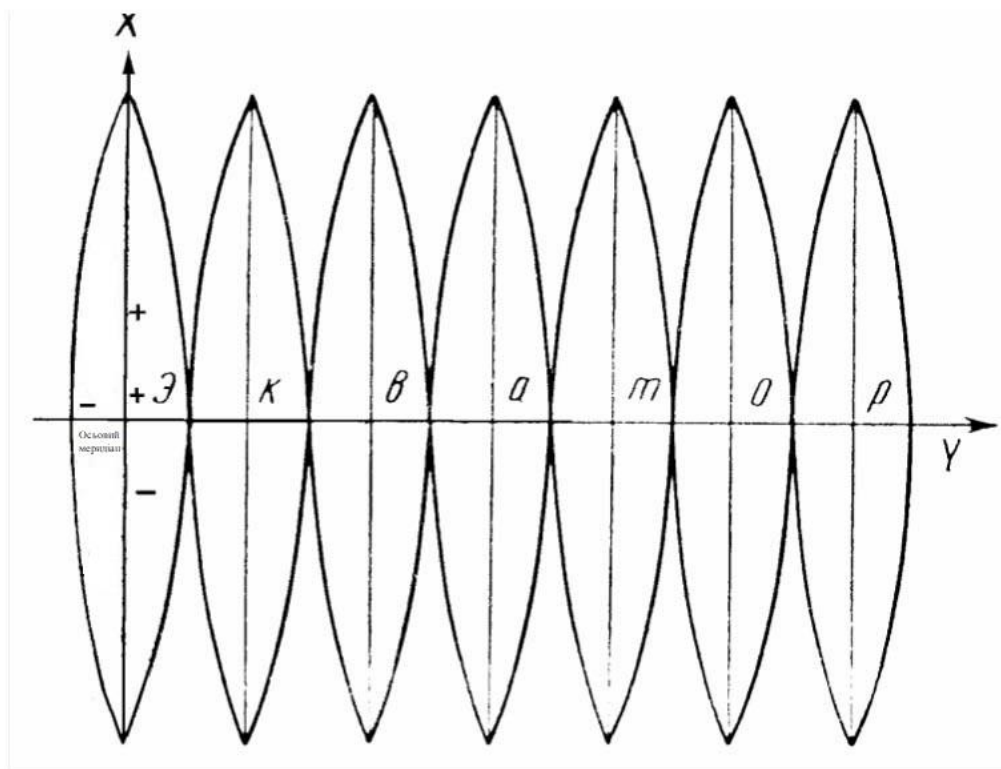


Рис. 2.4. Зони системи координат СК-42

Системи координат, СК-42, так і СК-63, УСК-2000 та інші були засновані на референц-еліпсоїді Красовського. Референц-еліпсоїд

Красовського використовувався, як еталон для геодезичних робіт та картографії в країнах, що використовували радянську систему координат.

Система координат 1963 року (СК-63). СК-63 (Система 1963 року) – це геодезична система координат, що використовувалась у країнах СРСР та інших країн, що були під впливом радянської системи. Вона стала заміною системи СК-42. Обидві системи використовують зональну систему координат, яка ділить територію на зони ширини 6 градусів довготи кожна та однакову проекцію Гаусса-Крюгера для перетворення географічних координат у плоскі прямокутні координати та навпаки.

Система координат СК-63 в цілому була схожа на СК-42, однак мала певні відмінності:

- СК-63 базується на референц-еліпсоїді Красовського 1963 року;
- СК-63 була призначена для використання на більшій території;
- в СК- 63 використовувались були також і 3-х градусні зони

Територія колишнього СРСР поділялася на райони СК-63, кожному з яких відповідала певна прописна латинська буква. Взаємне розташування та конфігурація районів СК63 відображалися на спеціальних бланкових картах.

Кожен район СК-63 складався з номенклатурних карт масштабу 1:100 000 (найменший масштаб в СК-63) та був розділений на зони шириною 3° або 6°. Зони в СК-63 показані на рис. 2. 5.

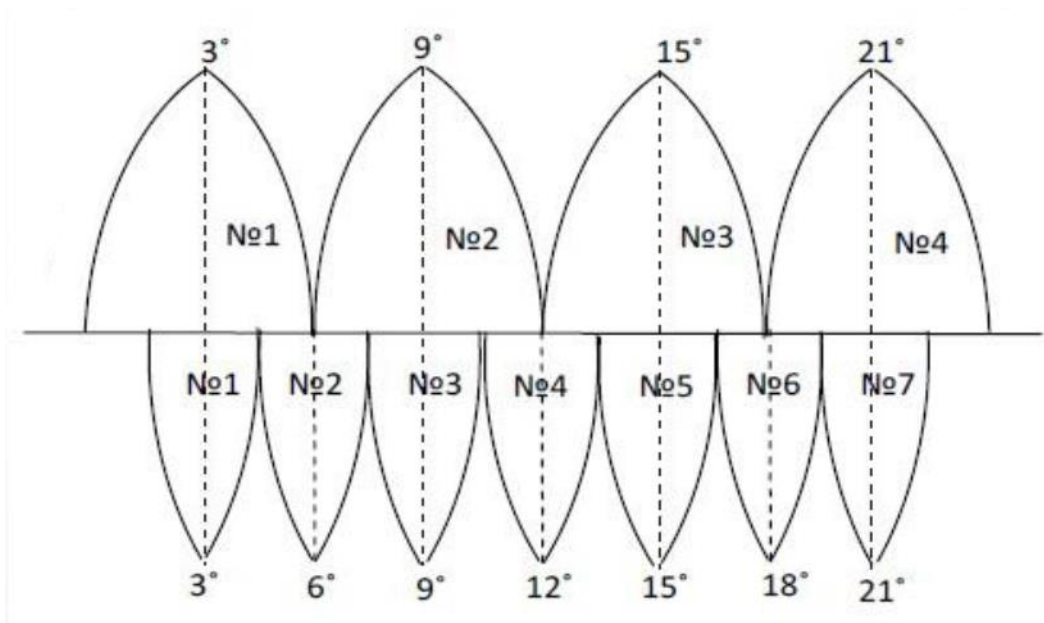


Рис.2.5. Зони в системі координат СК-63

В районах, які розташовані цілком південніше паралелі з широтою 60° північної широти, використовувалися зони шириною 3° . В районі Q, що знаходився цілком на північ від паралелі з широтою 60° північної широти, використовувалися зони шириною 6° . У районах, які перетинали цю паралель, використовувалися зони шириною 6° або 3° , і ширина зон для конкретного району була постійною величиною. Номенклатура системи координат СК- 63 зображена на рис. 2.6.

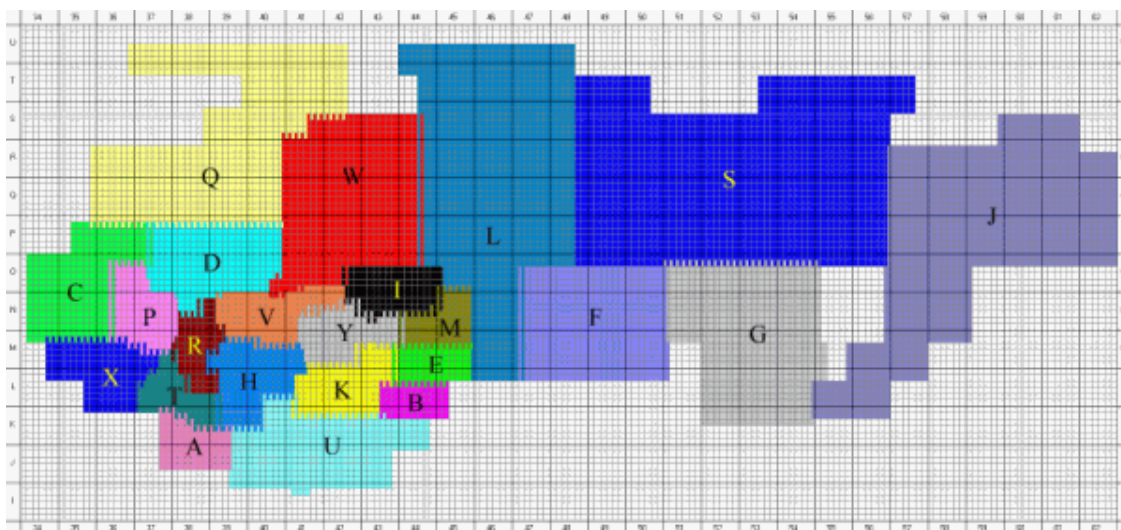


Рис. 2.6. Номенклатура системи координат СК-63

Зона де застосувалась система СК-63 – це територія колишнього

Радянського Союзу, а також деякі прилеглі до радянської території морські акваторії та найближчий прикордонний регіон.

Номенклатура та координатна сітка СК-63 описані на рис. 2.6.

СК-63	
Номенклатура аркуша карти масштабу 1:100 000 має вигляд Р-44-81, де Р - район, 44 - номер карти масштабу 1:100 000 в стовпчику, який збільшується з півдня на північ, 81 - номер карти масштабу 1:100 000 в ряду, який збільшується з заходу на схід. Номенклатура подвійних карт виглядає відповідно, наприклад, Q-44-53,54. Початкові номери рядів і стовпців для кожного району різні. Номенклатурна одинарна карта 1:100 000 відображає місцевість на протязі 20 хвилин за широтою і 30 хвилин за довготою, подвійна - 20 хвилин / 1 градус. В СК63 також існують карти більшого масштабу, такі як 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000. Їхні номенклатури "відповідно до" координати побудовані за стандартним принципом СК42. Наприклад, аркуш масштабу 1:25 000 V-26-25-А-а розташований в лівому верхньому куті аркуша 1:100 000 V-26-25. Карти інших масштабів зі стандартного масштабного ряду СК42 (1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:50 000) в СК63 не існують.	Якщо ширина зони дорівнює 3°, то між центральним меридіаном і краєм зони розміщуються 3 карти масштабу 1:100 000, 6° - 6 карт. Довготи вертикальних рамок карти масштабу 1:100 000 дорівнюють довготі центрального меридіана зони плюс або мінус кількість карт масштабу 1:100 000, які відокремлюють вказану рамку від центрального меридіана, помножену на 30' (3° зона) або 1° (6° зона). Для кожного району зміщення горизонтальної рамки номенклатурної карти масштабу 1:100 000 по широті відрізняється. Довгота центрального меридіана поточної зони (3°) відрізняється від довготи центрального меридіана попередньої зони цього району СК63 на 3°, у випадку використання 6° зони - на 6°. Якщо робота з СК63 з якихось причин ведеться зі шириною зони, яка не дорівнює стандартній ширині (3° замість 6° або 6° замість 3°), то центральні меридіани робочих зон не зміщуються відносно центральних меридіанів "стандартних" зон, а просто розміщені вдвічі частіше або рідше. Оскільки довготи центральних меридіанів і зсуви по широті різних районів СК63 різні, то райони СК63 на краях слабо накладаються один на одного (але в межах менших ніж аркуш масштабу 1:100 000 розмірів). Тому точка в СК63 може належати одразу декільком районам. Також іноді при проведенні картографічних і/або геодезичних робіт на тому чи іншому об'єкті може бути прийняте рішення щодо віднесення точки до такого-то району, такої-то зони певної ширини, незважаючи на те, що "формально" ці значення для точки відрізняються. Тому при роботі з СК63 район, зона і ширина зони (3° або 6°) зазвичай визначаються явно.

Рис. 2.7. Координатна сітка та номенклатура СК-63

Місцеві системи координат. Положення про порядок встановлення місцевих систем координат було затверджено наказом Мінекоресурсів від 3.07.2001 року за № 245. Місцеві системи координат встановлюються з метою мінімального спотворення проекції Гаусса-Крюгера, зручності у

використанні і застосовуються при виконанні топографо- геодезичних робіт та створенні топографічних планів у масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1:500 на території міст та інших населених пунктів, промислових комплексів усіх галузей економіки, підприємств гірничодобувної та нафтодобувної промисловості.

Встановлення нової або внесення змін до існуючої місцевої системи координат проводиться у випадках:

- якщо на об'єктах не виконувались топографо- геодезичні роботи і відповідно не були встановлені місцеві системи координат;
- якщо місцеві системи були не зв'язані з державними системами;
- якщо об'єкти примикають один до одного і для кожного з них була встановлена своя місцева система координат.

Для встановлення нової місцевої системи координат приймається проекція ГауссаКрюгера з довільним осьовим меридіаном, що проходить через центральну частину або поблизу об'єкта робіт шляхом переобчислення координат системи 1942 року з таким розрахунком, щоб поправками за редукування ліній та кутів на площину у цій проекції можна було знехтувати.

Якщо територія об'єкта робіт знаходиться на краю триградусної зони або у двох суміжних зонах, то довільним треба вважати найближчий роздільний осьовий меридіан. Місцева система координат утворюється від переобчислених координат системи 1942 року шляхом введення відповідного "ключа" переходу таким чином, щоб координати в місцевій системі складалися в метрах з п'ятизначних цифр, були додатні, а величини абсцис були в два рази більші від ординат.

В теперішній час в Україні офіційно зареєстровано 1146 місцевих систем координат, похідних від систем координат СК-42 та СК-63. Треба зазначити, що система місцевих систем координат значною мірою зруйнована. Протягом останніх 20 ти років багато організацій, що проводили землевпорядні роботи, не використовували офіційні параметри місцевих

систем координат, а встановлювали “свої”. параметри місцевих систем координат, Це привело до спотворення інформації про координати земельних ділянок у місцевих системах координат і значно ускладнило їх перерахунок у систему СК-63 та УСК-2000. Крім того, у 1985-1992 роках у Радянському Союзі було виконано перевірювання Державної геодезичної мережі, внаслідок чого були змінені координати пунктів до 2-х метрів. Але необхідні роботи по реконструкції міських геодезичних мереж та місцевих систем координат не було виконано. Це привело до невідповідності параметрів місцевих систем координат координатам пунктів Державної геодезичної мережі в системі координат СК- 42 в межах до 2- х метрів. Є також місцеві системи координат які були встановлені без зазначення осьового меридіану та зміщення центру системи координат, а описані як значення координат вихідного пункту ДГМ та дирекційного кута на суміжний пункт ДГМ для орієнтування системи. Для вирішення цих проблем необхідно виконати роботи по реконструкції місцевих систем координат.

Державна геодезична референцна система координат УСК-2000.

Система координат УСК-2000 (Українська система координат 2000) – це геодезична система координат, яка використовується в Україні для робіт у сферах геодезії, картографії та інших сферах. Вона є державною системою відповідно до чинної нормативно-правової бази та була впроваджена з метою стандартизації систем координат та покращення точності вимірювань.

UML – діаграма структури Державної геодезичної

референцної системи координат УСК-2000 подана на рисунку 2.8.

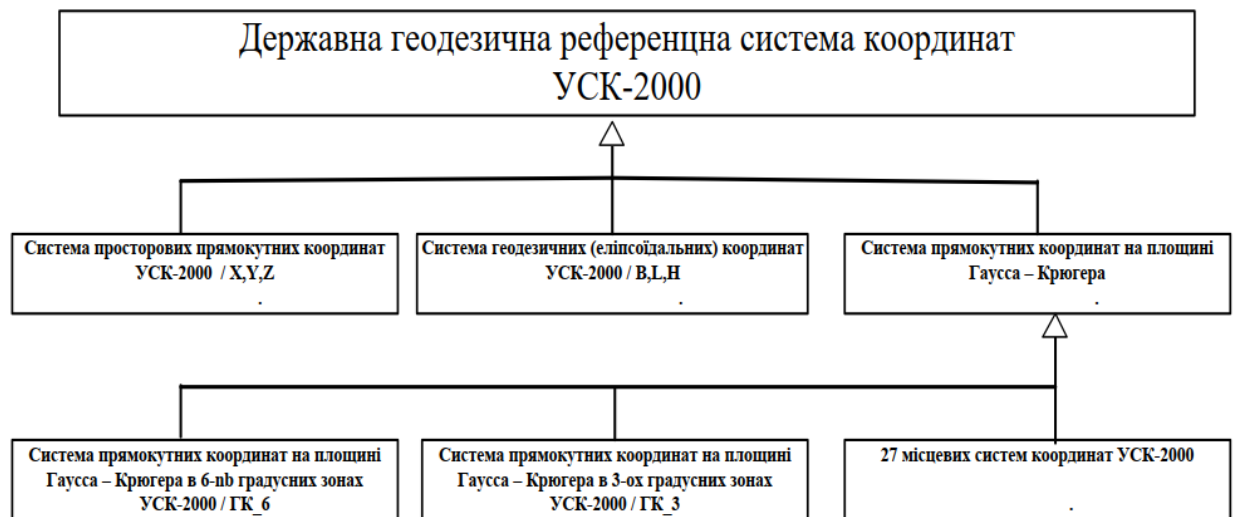


Рис. 2.8. UML – діаграма структури системи координат УСК-2000

Треба звернути увагу, що перелічені система просторових координат XYZ, система геодезичних (еліпсоїдальних) координат BLH та система прямокутних координат на площині Гаусса- Крюгера є підтипами, тобто окремими випадками надтипу - класу об’єкту “Державна геодезична референцна система координат” і знаходяться у стані успадкування (Generalization). Це означає, що Державна геодезична референцна система координат УСК-2000 може бути представлена одним з переліченим підтипів.

Система координат УСК-2000 базується на міжнародній системі WGS 84 (World Geodetic System 1984), що використовується для точного визначення місцезнаходження на поверхні Землі.

Державна геодезична референцна система координат УСК-2000 базується на використанні ГНСС. ГНСС використовують супутники, які обертаються навколо Землі, для відправлення сигналів, які приймаються приймачами на землі. Вони розташовані у різних точках навколо Землі, і приймачі вимірюють час, необхідний для досягнення сигналів від кількох супутників. На основі цих часових вимірів та інформації про розташування супутників приймач може визначити своє точне географічне положення.

Система координат УСК-2000 закріплена приблизно великою кількістю пунктів ДГМ. Відмінність УСК- 2000 від СК-63 показана на рис.

2.9.

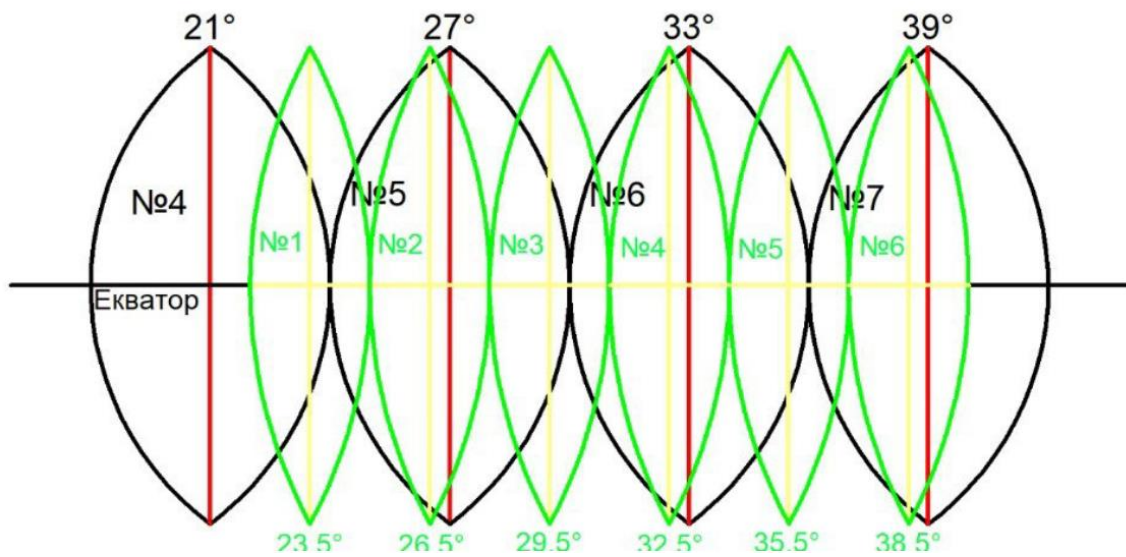


Рис. 2.9. Відмінності УСК- 2000 від СК-63

Використання системи координат УСК-2000 розглянуто на рис. 2.10.

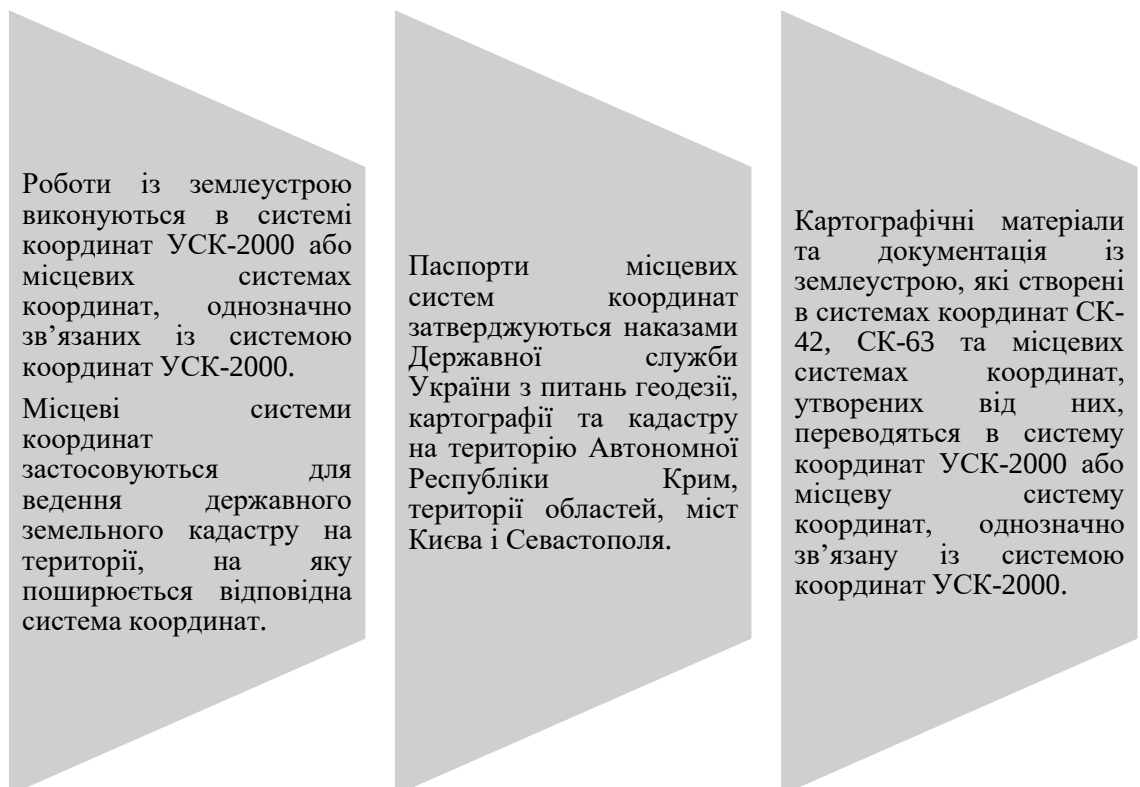


Рис. 2.10. Використання системи УСК-2000

Міжнародна загальноземна референсна система координат ITRS.

Міжнародна загальноземна референсна система координат (ITRS – International Terrestrial Reference System) – це глобальна геодезична система координат, що використовується для визначення точного місцезнаходження точок на поверхні Землі. ITRS є основою для багатьох глобальних систем координат та служить основою для забезпечення точності вимірювань і навігації в усьому світі.

ITRS використовує геоцентричні координати, таким чином центр координат знаходиться в центрі мас Землі. Система використовує сталі параметри, які визначають геодезичні параметри Землі, такі як її форма і розміри. ITRS розроблена з метою забезпечення єдності та взаємодії геодезичних даних в усьому світі. ITRS підтримується таким чином, щоб забезпечити стабільність в часі, адаптується до змін параметрів Землі та оновлюється за необхідністю.

Сутність системи ITRS висвітлено на рис. 2.110.

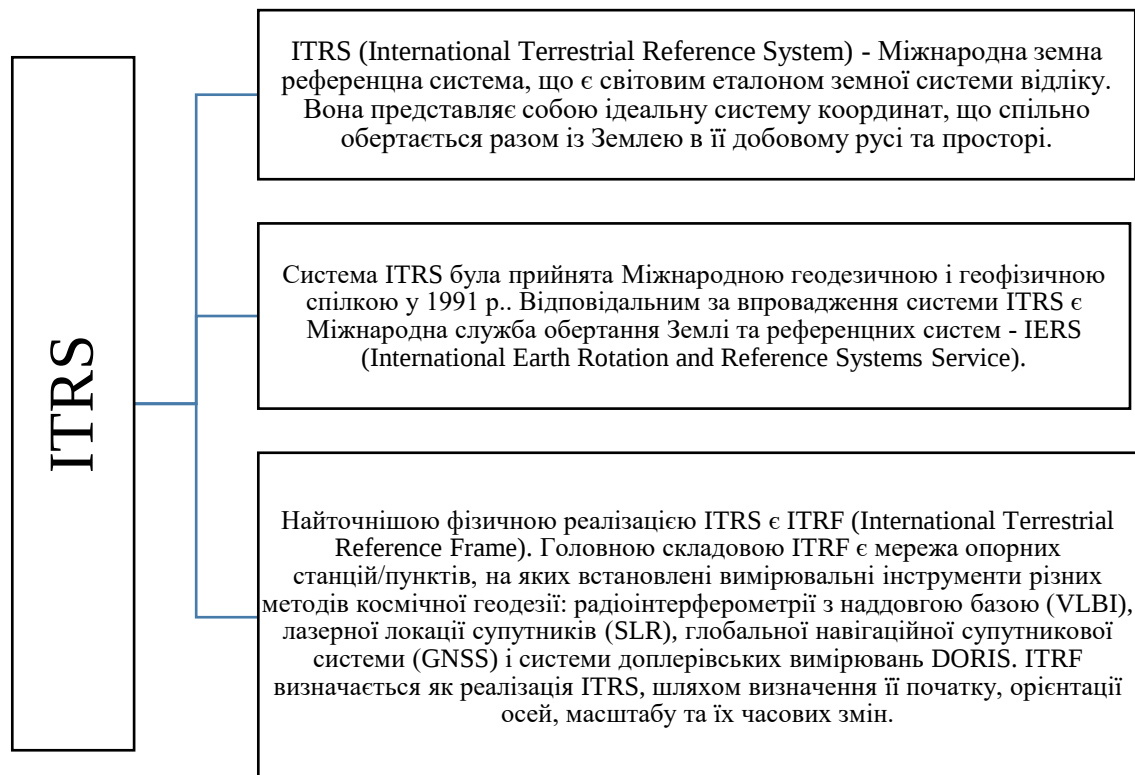


Рис. 2.11. Сутність ITRS

Система координат WGS- 84. WGS 84 (World Geodetic System 1984) – це глобальна система геодезичних координат, котра використовується для визначення місцеположення об'єктів на поверхні Землі. Вона була розроблена в 1984 році і є стандартом для системи глобального позиціонування (GPS).

WGS 84 ґрунтується на моделі Землі, яка представляє собою еліпсоїд обертання, що має форму, близьку до форми реальної Землі. Попередніми версіями даної системи були WGS 72, WGS 66 і WGS 60. WGS 84 визначає координати відносно центру мас Землі. За основу був взятий екваторіальний еліпсоїд. WGS-84 представлена на рис. 2.12.

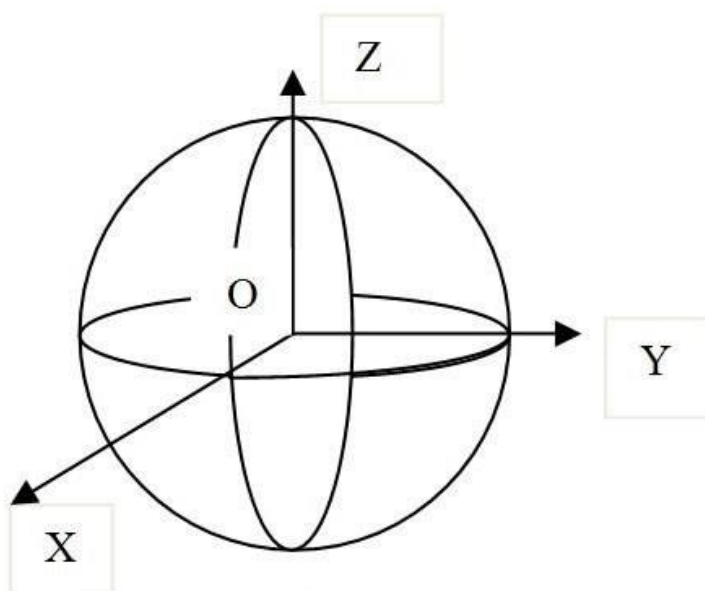


Рис.2.12. Система координат WGS-84

WGS-84 була розроблена Міжнародним комітетом з геодезії та геофізики (IGAG) в 1984 році. IGAG - це міжнародна організація, яка займається питаннями геодезії та геофізики. До складу IGAG входять представники понад 100 країн. WGS 84 ґрунтується на моделі Землі, яка представляє собою еліпсоїд обертання, що має форму, близьку до форми реальної Землі.



Рис. 2. 13. Карта в системі координат WGS-84

Сутність системи WGS-84 описана на рис. 2.14.

Світова геодезична система включає фундаментальні астрономічні та геодезичні сталі, модель гравітаційного поля Землі у вигляді коефіцієнтів розкладення геопотенціалу в ряд по шарових функціях, карти висот геоїда над еліпсоїдом. Практична реалізація WGS-84 здійснена низкою станцій - системи операційного управління з відомими координатами, що задають початок системи координат, орієнтацію її осей та масштаб

Для геодезичних цілей необхідно мати додаткові геометричні та фізичні параметри, що визначають еліпсоїд WGS-84. Вони розраховуються з використанням чотирьох основних параметрів еліпсоїда WGS-84 на основі теорії еквіпотенціального еліпсоїда

WGS84 є абсолютною системою визначення координат місця спостереження без будь-яких наземних засобів управління, а виключно на основі супутникових орбіт. Вона була створена Міністерством оборони США (DoD) для супутникових систем. Перша реалізація WGS84 була створена в 1987 році і базувалася виключно на доплерівських вимірюваннях. Із 1994 року у реалізації WGS84 основним вимірювальним засобом стала система GPS, а референсна система WGS84 стала асоціюватися із ITRF.

Рис. 2.14. Сутність системи координат WGS-84

Проаналізувавши референсні систем координат, які використовуються

на території України, нами була складена схема взаємозв'язку між цими системами координат (рис. 2.15).

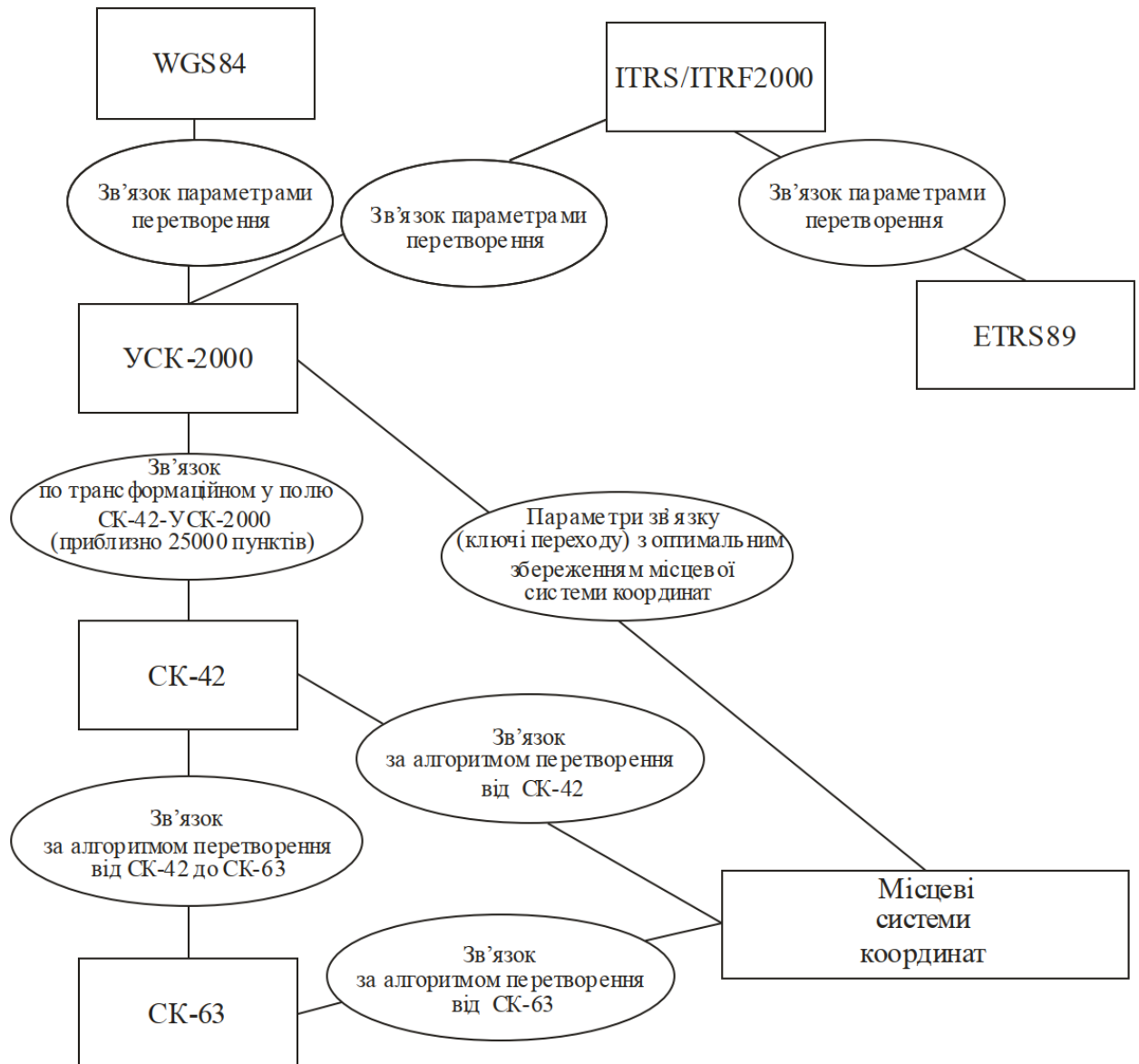


Рис. 2.15. Схема взаємозв'язку між системами координат України

РОЗДІЛ 3

ТЕХНОЛОГІЯ КООРДИНАТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТА ТРАНСФОРМУВАННЯ ПРИ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБОТАХ

3.1. Трансформація систем координат

Геодезичні мережі створюються в певних системах координат. Постановою КМУ № 1259 від 22.09.2004 р. [32] встановлено, що виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт починаючи з 1 січня 2007 р. здійснюється із застосуванням Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000, а під час проведення міжнародних досліджень, в яких бере участь Україна, застосовується міжнародна загальноземна референцна система координат ITRS. Супутникові геодезичні спостереження, які базуються на використанні системи GPS, виконуються у системі координат WGS-84. Зазначимо також, що хоча і скасовано дію систем координат СК42 і СК63, вони продовжують використовуватися, як і засновані на них місцеві системи координат.

Оскільки УСК-2000 є Державною геодезичною референцною системою координат, наявна необхідність у переведенні координат з інших координатних систем з більш низькою точністю (СК-42, СК-63).

Координатна операція включає поняття координатного трансформування та координатного перетворення. Перетворення від еліпсоїдної системи координат, що базується на даті WGS 84 до декартової референсної системи координат, що також базується на даті WGS 84, або зміна одиниць, таких як радіани, в градуси, або таких, як фути, в метри.

Координатне перетворення (coordinate conversion) – координатна операція, в якій обидві референсні системи координат базуються на одній і тій же даті. Координатне перетворення використовує параметри, що мають визначені значення, що отримані не емпіричним шляхом.

Перетворення координат:

- визначення прямокутних координат X , Y в проекції Гауса-Крюгера

за

геодезичними координатами B та L ;

- визначення геодезичних координат B та L за прямокутними координатам X , Y в проекції Гауса-Крюгера;
- перерахування координат за заданими параметрами перетворення (дійсні теоретичні значення параметрів відомі).

Координатне трансформування (coordinate transformation) – координатна операція, в якій дві референсні системи координат базуються на різних датах. В координатній трансформації використовують параметри, отримані емпірично через набір точок із відомими координатами в обох референцних системах координат.

Трансформування координат:

- визначення параметрів переходу в результаті побудови інтерполяційної або апроксимуючої функції за опорними (суміщеними) точками, координати яких задані у вхідній та вихідній системах координат;
- застосування афінного трансформування методом скінченних елементів на основі тріангуляційної моделі поля (TIN – моделі).

Правильність та відповідність трансформації координат залежить від точності вихідних даних та методу трансформування. Метод трансформації вибирають залежно від цілей використання координат, оскільки точність визначення координат в різних методах відрізняється. Основні методи трансформації представлені на рис. 3. 1.

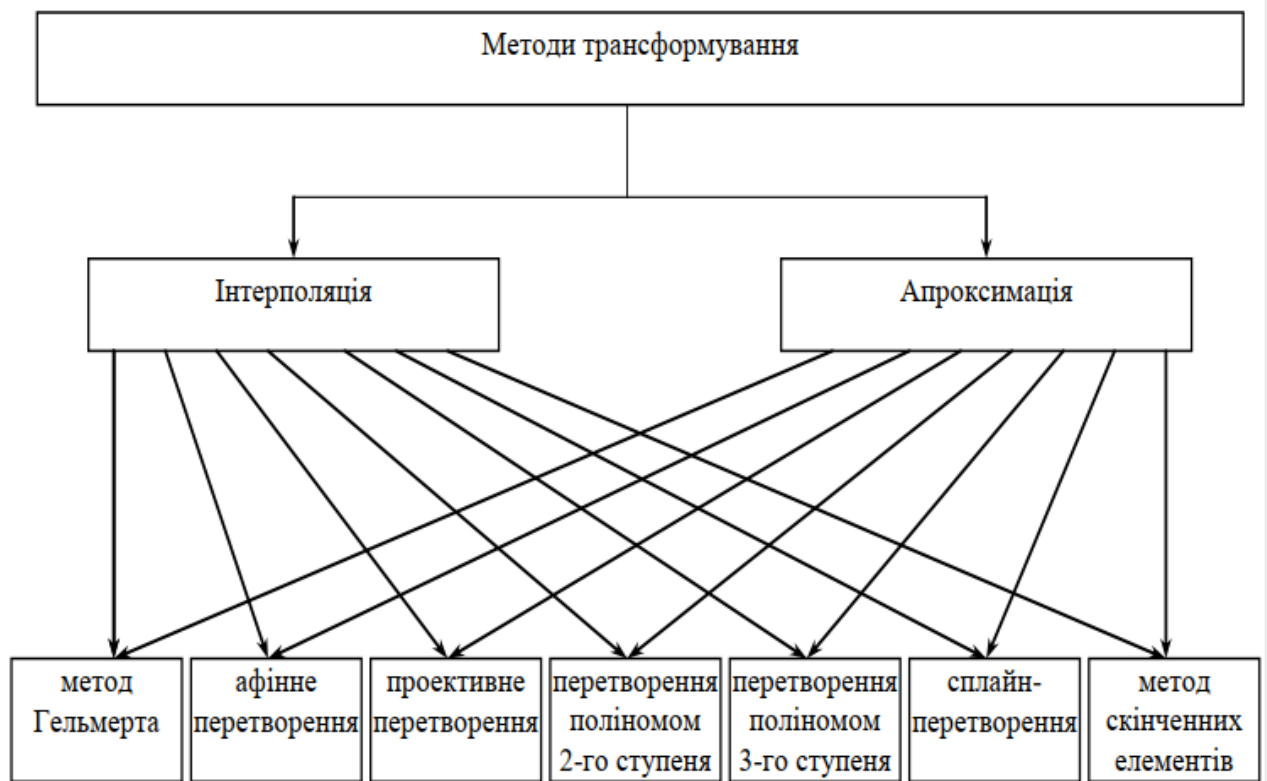


Рис. 3.1. Класифікація методів трансформування координат

1. *Метод Гельмерта* виконується поворот растрового зображення, площинно-паралельний зсув растрового зображення уздовж осей X та Y , масштабування растрового зображення, при якому масштабні коефіцієнти вздовж осей X та Y рівні.

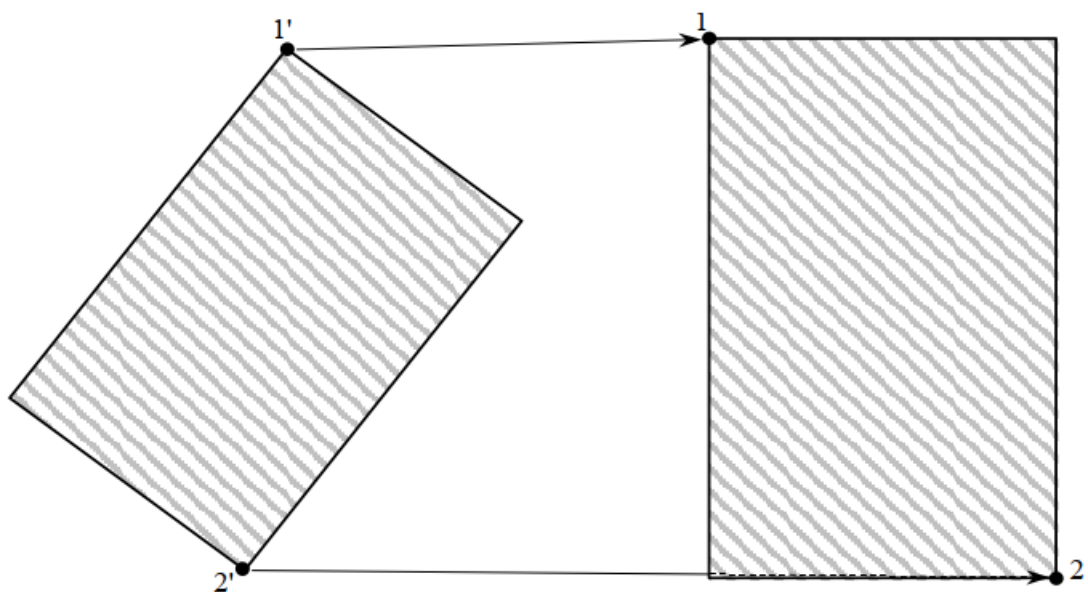


Рис. 3.2. Трансформування за методом Гельмерта

Трансформування за методом Гельмерта є конформним, що забезпечує перетворення фігури, у подібну при якому кути зберігаються а довжини ліній пропорційні. При цьому методі використовується формула:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

де m – масштабний коефіцієнт,

θ – кут повороту трансформованих координат відносно вихідних.

Використання методу Гельмерта потребує визначення 4-х параметрів:

$$F = f(x_0 \ y_0 \ \theta \ m). \quad (3.2)$$

Методом Гельмерта рекомендується застосовувати у випадках малої кількості точок суміщення з необхідністю при найкращій точності трансформації.

2. *Метод афінного перетворення* виконується поворот растрового зображення, площинно-паралельний зсув растрового зображення уздовж осей X та Y , масштабування растрового зображення, при якому масштабні коефіцієнти вздовж осей X та Y неоднакові. Зміна конформності растрового зображення.

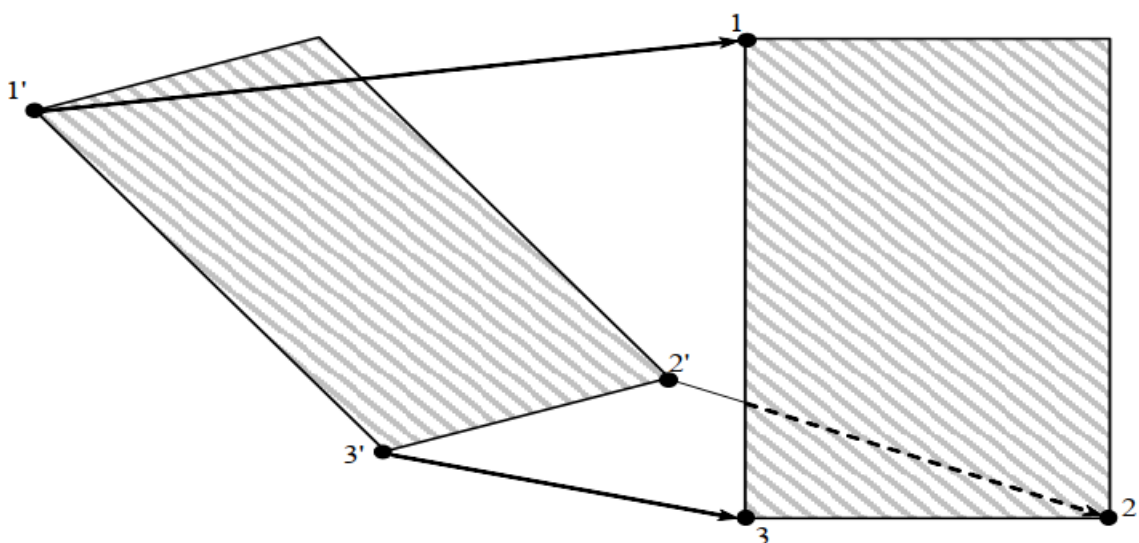


Рис. 3.3. Афінне трансформування

Афінне трансформування відбувається за формулою:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_x \cos \theta_x & m_y \sin \theta_y \\ m_x \sin \theta_x & m_y \cos \theta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

де m_x та m_y – коефіцієнти масштабу,

θ_x, θ_y – кути повороту трансформованих координат відносно вихідних.

Таким чином необхідно визначити 6 параметрів:

$$F = f(x_0 \ y_0 \ m_x \ m_y \ \theta_x \ \theta_y) \quad (3.4)$$

Афінне трансформування застосовується у випадках наявності великої кількості точок для суміщення.

3. *Метод проєктивного перетворення* – проєктивне перетворення однієї площинної фігури в іншу.

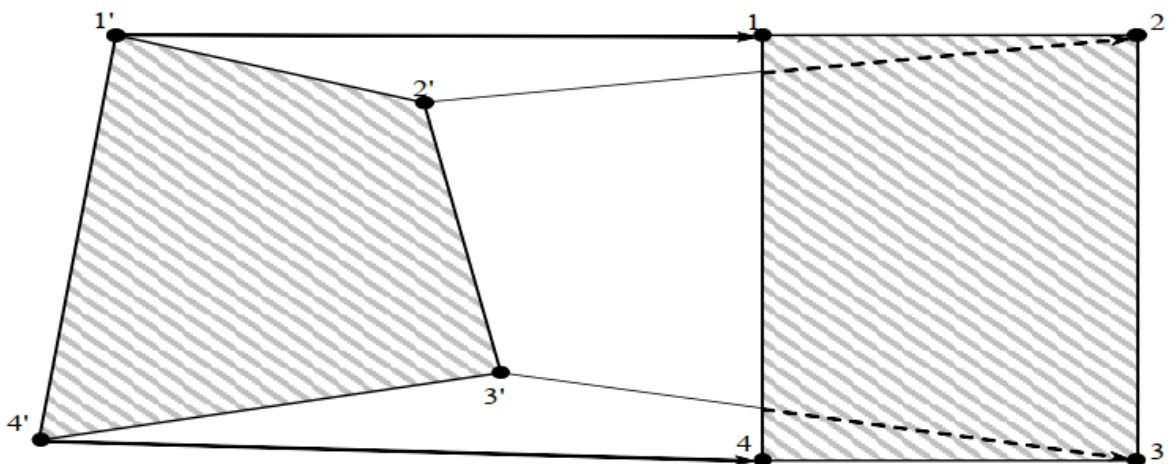


Рис. 3.3. Метод проєктивного перетворення

4. *Метод перетворення поліномом 2-го ступеня* передбачає нелінійне перетворення однієї площинної фігури в іншу.

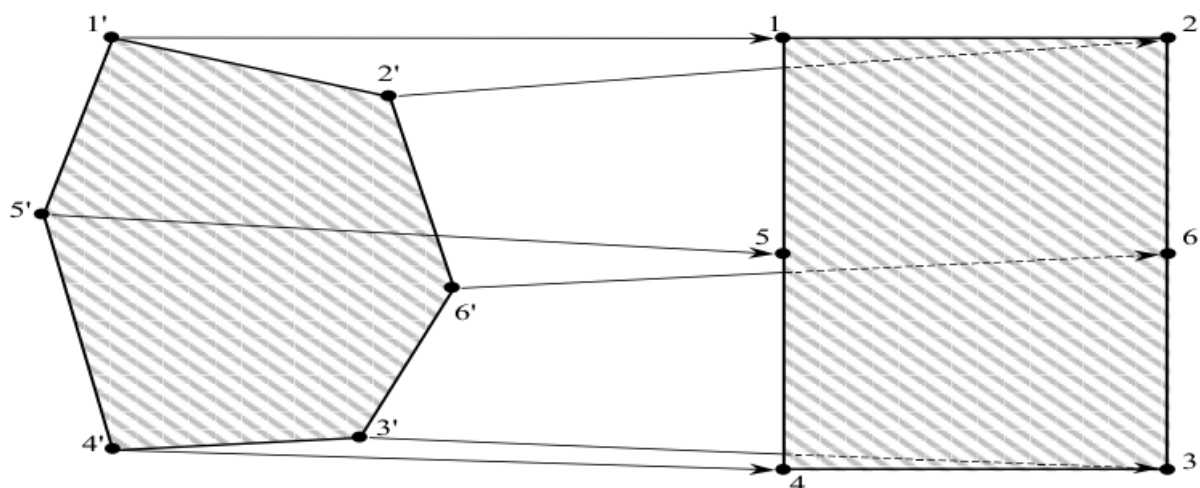


Рис. 3.4. Метод перетворення поліномом 2- го ступеня

5. Метод перетворення поліномом 3- го ступеня передбачає нелінійне перетворення однієї площинної фігури в іншу.

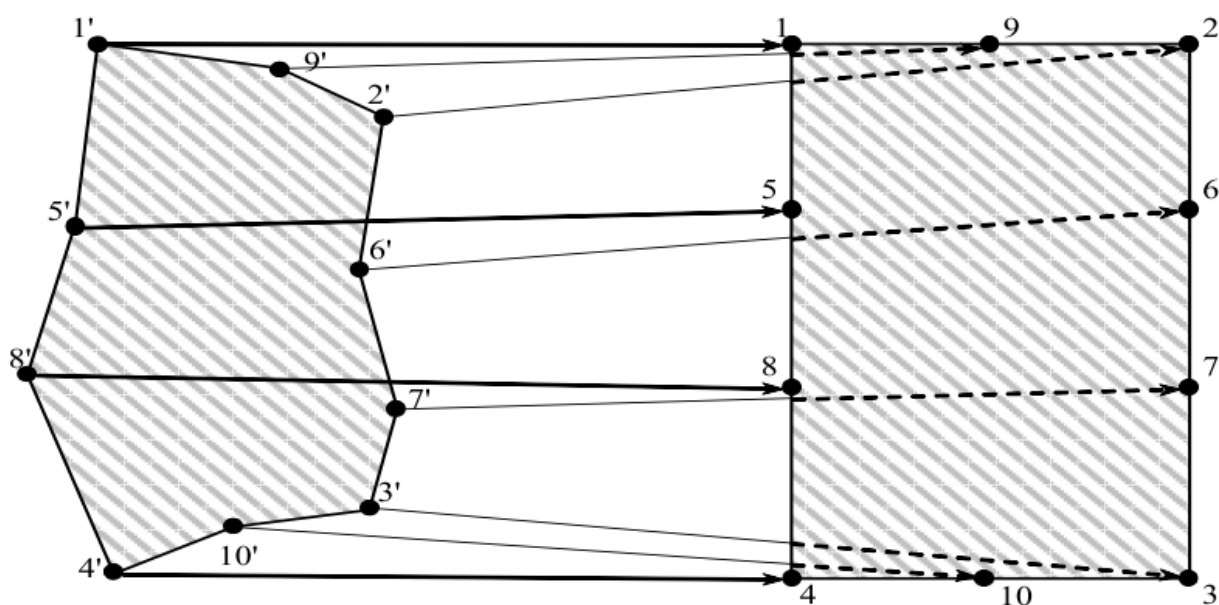


Рис. 3.5. Метод перетворення поліномом 3-го ступеня

Трансформування растру методами побудови поліномів 2-го чи 3- го ступеня виконується при наявності значних нелінійних спотворень растрового зображення та великої кількості опорних точок. Побудова інтерполяційного поліному не забезпечує достатньої точності трансформованого растрового зображення, оскільки спотворення виправляється найкраще поблизу опорних точок, а де низька густина

опорних точок залишається із значною величиною.

При поліноміальному трансформуванні застосовується формула:

$$\begin{aligned}u &= a_5x^2 + a_4y^2 + a_3xy + a_2x + a_1y + a_0 \\v &= b_5x^2 + b_4y^2 + b_3xy + b_2x + b_1y + b_0\end{aligned}\tag{3.5}$$

де, a_i, b_i – коефіцієнти полінома.

Для застосування даного методу необхідним є визначення 12-и параметрів:

$$F = f(a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ b_0 \ b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5) \tag{3.6}$$

Даний метод застосовується за наявності значної кількості опорних точок та нелінійних спотворень.

Кубічний сплайн, як частково безперервна функція характеризується мінімальною кривизною, точно повертає координати опорних точок.

6. *Трансформування за методом скінченних елементів*, можливе за допомогою використання елементів з 3-ма кутами відповідно до різниці координат на вершинах даних елементів та застосування способу триангуляції або необхідні прямокутні елементи, що розділені рівномірно на сітці, з прогнозуванням різниць координат та створення скінченного елемента відповідної точності.

Трансформація даним методом потребує побудову трансформаційного поля відповідної території та трансформацію за інтерполяційною моделлю даного поля. За методом скінчених елементів вхідне растрове зображення розчленовується на скінчені елементи – трикутники.

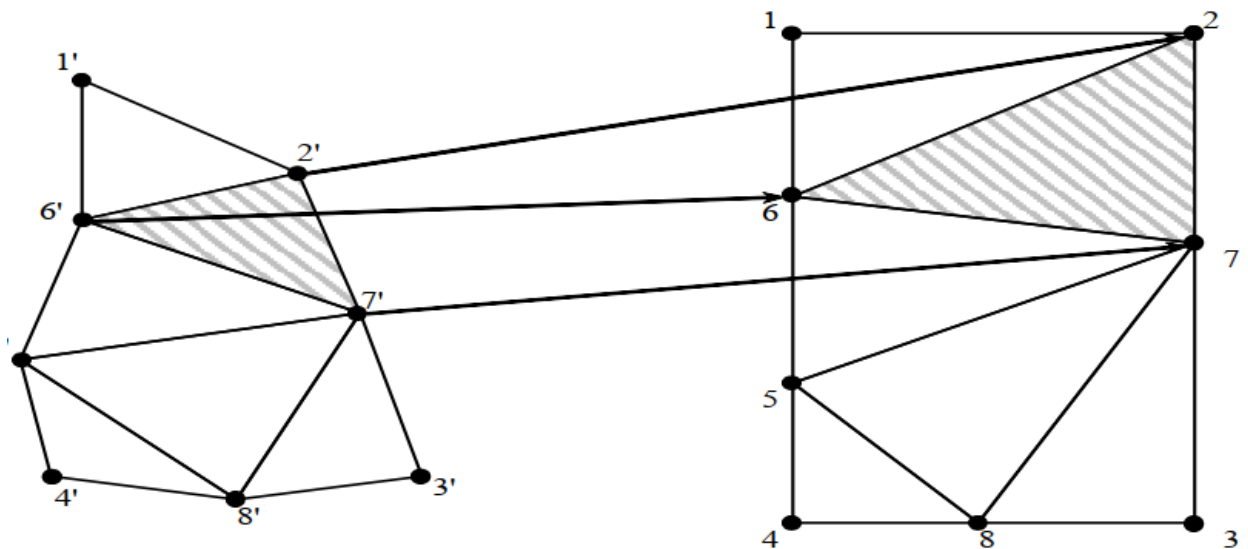


Рис. 3.6. Метод трансформування за методом скінченних елементів

3.2. Технологія координатного перетворення та трансформування між основними системами координат, що застосовуються в Україні

В основі кожної національної кадастрової бази даних лежить система координат. В Україні електронна кадастрова інформаційна база даних земельних ділянок почала створюватися в 1997 році на основі системи координат СК-63, яка має великі спотворення. До початку 2018 року всі зареєстровані ділянки (не менше 25 млн.) мають координати в старій системі координат СК-63. Публічна кадастрова карта України побудована і функціонує в системі СК-63.

Система координат УСК- 2000 була розроблена в 2007 році, а роботи із землеустрою всі ці роки здійснювалися в системі координат СК-63 (похідна від СК-42 – системи координат повоєнного часу). Виникали спотворення на кілька метрів. Фактично всі учасники земельних відносин не змогли перейти до роботи в новій системі координат. Координати пунктів, векторні та растрові матеріали, кадастрові бази, що були сформовані раніше, мали бути перераховані та визначені в систему координат УСК-2000.

З радянських часів в Україні залишилася велика кількість архівних

картографічних матеріалів на територію нашої країни. У державних установах ці картометричні матеріали зберігаються та поширено використовуються у сфері земельних відносин, що пояснює значний обсяг землевпорядних даних у системах координат 1942 (СК-42) та 1963 роках (СК-63). Саме ці системи координат, СК-42 та похідна від неї СК-63, були фундаментальними для створення місцевих систем координат на території тодішньої УРСР.

Шлях вирішення неоднозначних розбіжностей між старою системою координат СК-42 та новою координатною системою УСК-2000 полягає в складанні трансформаційного поля на обмежену територію (адміністративний поділ, потужність об'єкта, тощо).

Використовуючи супутникові технології GPS для визначення координат, НДІ геодезії та картографії створено єдину високоточну мережу для всієї території України і порівняно із існуючою СК-63. Карта точності СК-63, отримана порівнянням координат одних і тих самих пунктів визначених у двох системах координат наведено на рис. 3.7.

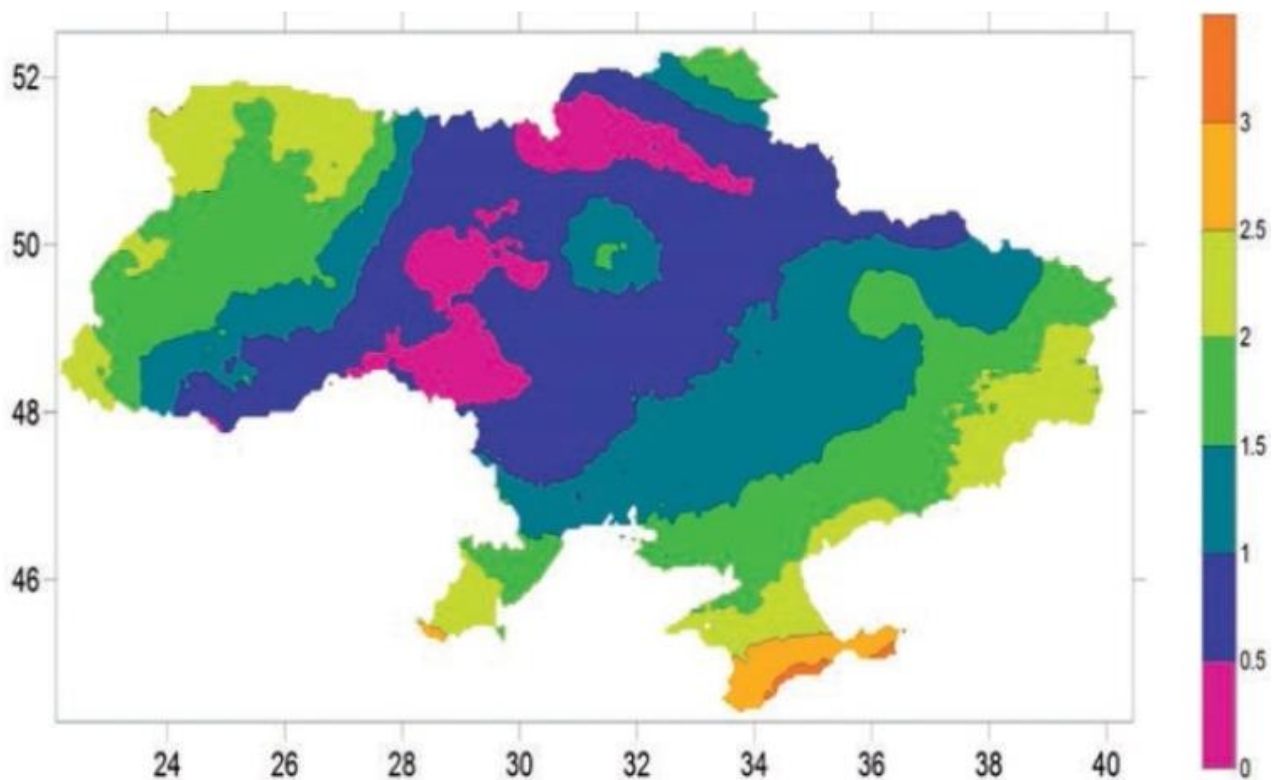


Рис. 3.7. Різниці планових координат між системами УСК-2000 і СК-63, м

Отже точність СК-63 для всієї території України склала 3.5 м. А точність пунктів на окремих ділянках площею від 50 до 100 км² є від 0.5 до 1 м. Так визначаючи координати у СК-63 у межах однієї області від пунктів Державної геодезичної мережі допускались помилки в 1 м лише як помилки вихідних даних.

Найбільший вплив деформацій на координати точок земельної ділянки має місце в тих регіонах країни, де ухил поверхні деформацій максимальний, тобто, в областях, в яких відстань між ізолініями рівних деформацій мінімальна. Згідно зі схемою деформацій системи УСК-2000 щодо СК-42 (СК-63), найбільший ухил поверхні деформацій має в центрі країни в Черкаській області.

З початком введення Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000, землепорядні роботи продовжують виконуватись в системі координат СК-63, порушуючи принципи впровадження системи координат УСК-2000, затверджені Постановами Кабінету Міністрів України [31, 33], та порушуючи Порядок [32], який визначає механізм використання УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою. Це пов'язано з унеможливленням використання строгого математичного перетворення між радянськими низько точними та теперішніми високоточними системами координат.

Між системами координат для зручного та правильного їх використання при землепорядних, геодезичних та інших робіт у сфері земельних відносин повинна бути інтеграція, яка представлена математичним ключем переходу з однієї в іншу систему. Якщо така умова виконується, то цю систему координат можна назвати повноцінною та інтегрованою, що дозволяє не замислюватись над процесом перетворень та трансформацій координат. А найголовніше – досягти високої точності площі, периметру та інших властивостей геометричних елементів земельних ділянок.

У землевпорядній практиці використовують 2 шляхи для отримання координат в УСК-2000:

- I спосіб – перетворення даних з архівних, що зберігаються у системах СК-42 та СК-63;
- II спосіб – отримання координат з використанням даних глобальних навігаційних супутникових систем, які працюють у системі координат WGS-84.

Ключі переходу або мають емпірично строгий зв'язок, або отримані внаслідок застосування трансформаційного поля, що пояснює, різницю між перетворенням та трансформуванням між системами координат (рис. 3. 8).

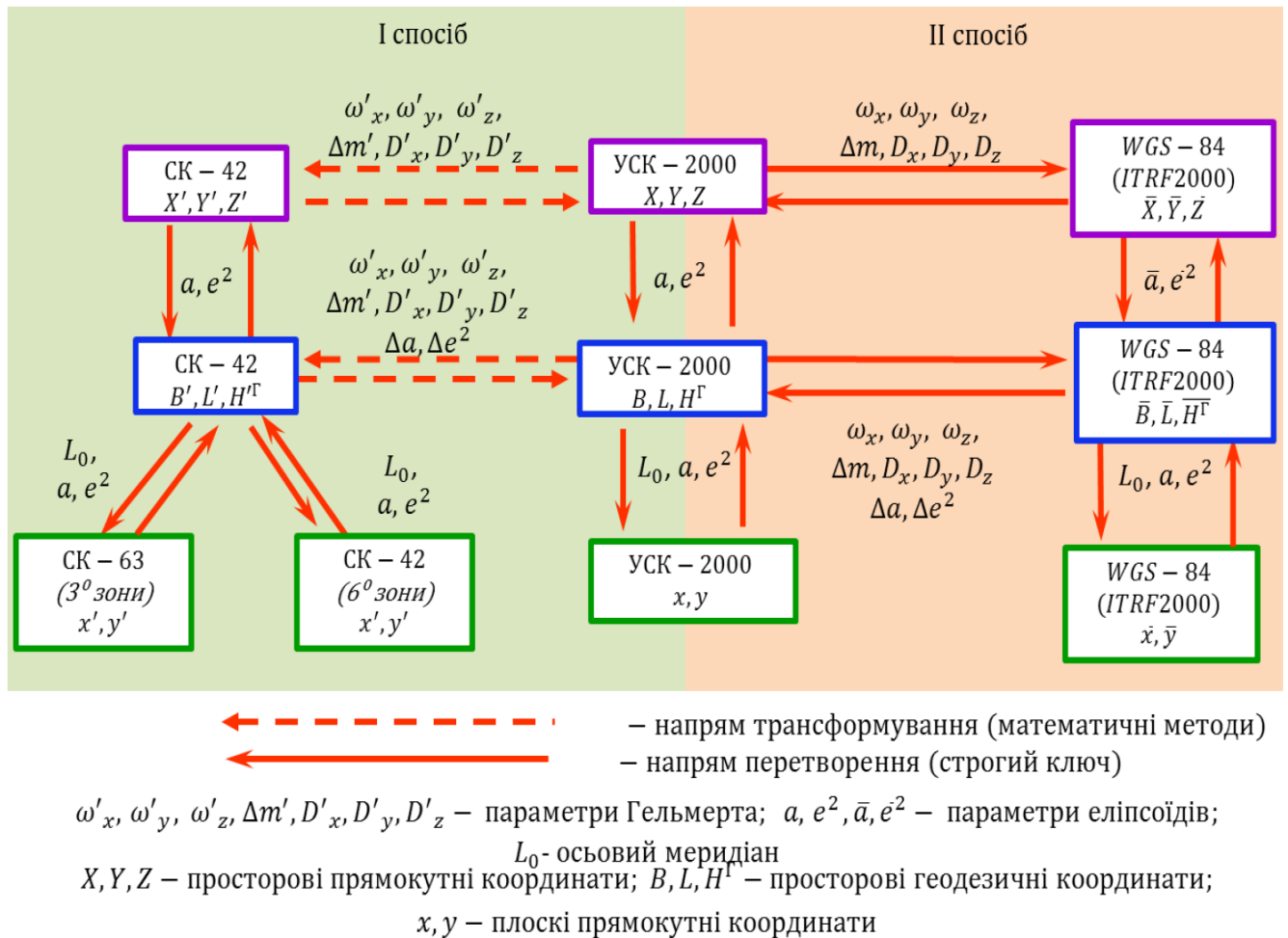


Рис. 3.8. Технологія координатного перетворення та трансформування між основними системами координат та їх похідними, що застосовуються в Україні

У I способі не існує строгих ключів переходу від систем координат СК-42 та СК-63 у систему УСК-2000 та навпаки. Трансформування

координат виконується із застосуванням локальних ключів, отриманих при використанні трансформаційного поля з опорними точками, що мають відомі координатами у обох координатних системах. Найчастіше при цьому будують мережу за рівнянням Делоне. Точність перетворення координат при застосуванні локальних ключів залежить від параметрів трансформування, таких як: математична модель, місцезнаходження та конфігурація опорних точок, точність вихідних координат.

У II способі при застосуванні параметрів Гельмерта існує строгий зв'язок із системами ITRS/ITRF2000 та WGS- 84. Параметри Гельмерта активно використовуються в світовій практиці. На жаль, досліджуючи питання перетворення та трансформування координат для визначення чіткого зв'язку між системами координат, виникають розбіжності, застосовуючи різні джерела інформації з вказаними параметрами Гельмерта, які наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. **Вихідні дана для експерименту**

<i>Просторові геодезичні</i>			
СК- 42	50 02`11,86452" N	36 14`43,71188" E	204,914
WGS- 84	50 02`11,59100" N	36 14`37,96630" E	218,505
<i>Просторові прямокутні</i>			
СК-42	****600,135	****030,494	**** 649,664
WGS-84	****624,883	****906, 859	****568,948

Відповідно до рис. 3. 8 Боровим В.О., Зарицьким О.В. та Конем Д.О. [5] було розглянуто два шляхи перетворення просторових геодезичних та прямокутних координат: складний та простий (рис. 3.9 а, б). Простий варіант означає використання параметрів відповідних еліпсоїдів, а складний, окрім цього, ще сім параметрів Гельмерта. Перетворення координат контролювалось як у середині кожного з варіантів, так і між собою.

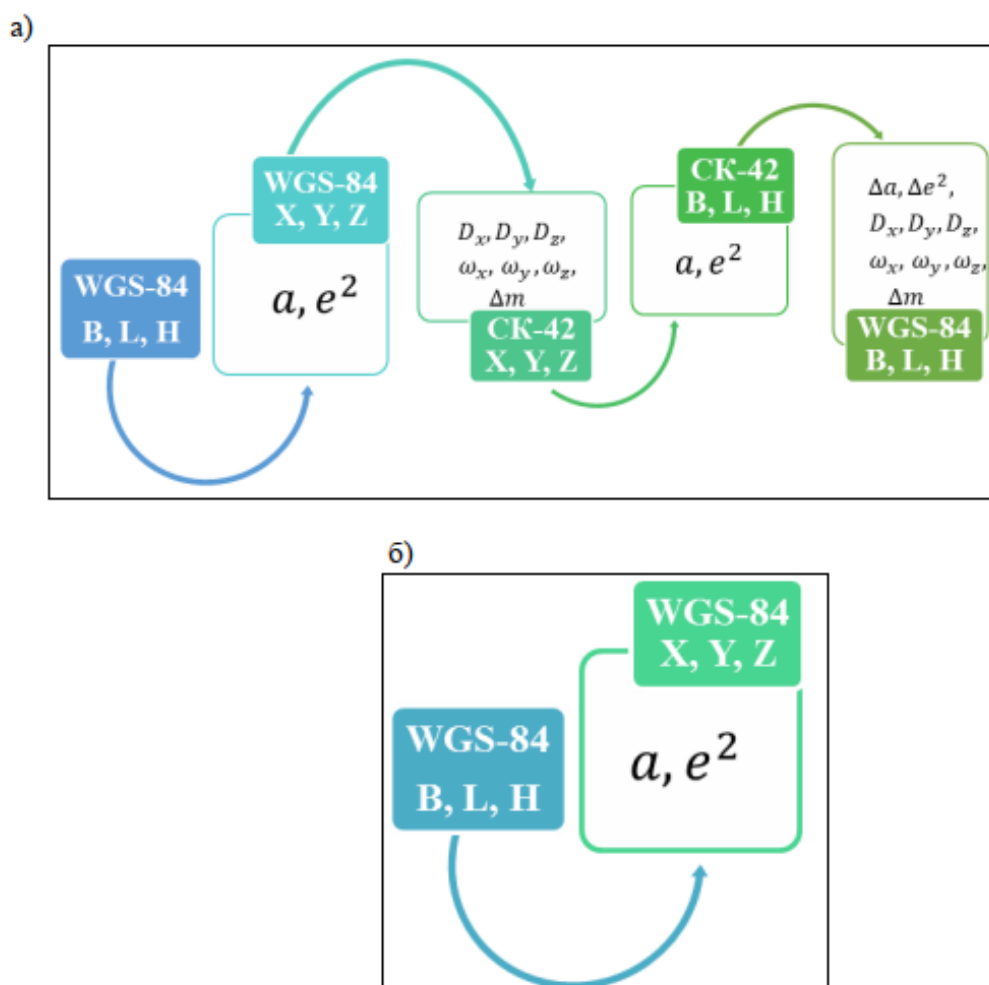


Рис. 3.9. Шляхи перетворення координат у системах WGS-84 та CK- 42:

а) – складний; б) – простий

Вихідними даними для проведення експерименту були координати базової станції мережі «NGC-NET» в системі координат CK- 42 та WGS-84, які наведено у таблиці 3.2.

Оскільки в дослідженні використовуються просторові прямокутні координати, то у таблиці 3. 3 значення різниць взяті до 8-ого знаку з метою збереження точності вихідних координат. У цій таблиці зображено різниці координат отриманих двома шляхами, що демонструє досить велику відмінність у системі координат CK-42 у порівнянні з WGS-84. Наприклад, за даними Marinfo 1001 виникають значні відхилення. Різниці координат у WGS-84 майже однакові. Більш оптимальні Delta Digital 5.0 та ERDAS

IMAGINE.

Таблиця 3.2. Параметри Гельмерта для переходу від СК-42 в WGS-84

№	Параметри Гельмерта							Джерело даних
	ΔX	ΔY	ΔZ	ωx	ωy	ωz	m	
1	23,92	-141,27	- 80,90	0	0,35	0,82	- 0,00000012	ГОСТ 51794-2001
2	23, 92	-147,27	-80,90	0	-0, 35	-0,82	-0,00000012	Mapinfo 1013
3	27,00	-135,00	-84,50	0	0	-0,0000026	0,0000002263	ERDAS IMAGINE
4	24,00	-123,00	-94, 00	-0,00000096	0,000001212	0,00000063	0,0000011	ERDAS IMAGINE
5	25,00	- 141,00	-78,50	0	-0,35	- 0,736	0	Tribble NL 2.90
6	24,00	-123,00	-94,00	- 0,02	0,25	0,13	0, 0000011	Mapinfo 1001
7	25,00	-141, 00	-78,50	0	0	0	0	Delta Digital 5.0

Таблиця 3.3. Різниця між простим та складним переходом просторових геодезичних координат від СК-42 в WGS- 84

№	WGS-84			СК-42			Джерело даних
	B, с	L, с	H, м	B, с	L, с	H, м	
1	0, 000059640	0,000352330	-0,005	-3,69086127	0,54503985	0,501	ГОСТ 51794-2001
2	0,000052680	0,000308750	-0,004	- 3,07125635	-0,52167844	-0,884	Mapinfo 1013
3	0,000058110	0,000306200	-0, 004	-3,53077312	0,0113744	-0,195	ERDAS IMAGINE
4	0,000045570	0,000273170	- 0,004	-3,92737166	0,01032745	-0, 205	ERDAS IMAGINE
5	0,000056880	0, 000303110	-0,004	-2,99100452	-0,46700587	- 0,373	Tribble NL 2.90
6	- 0,023578050	0,000281290	-0,004	-4, 05319485	0,11400843	-2,489	Mapinfo 1001
7	0,000059500	0,000323600	-0,004	- 3,28103385	0,01171747	-0,193	Delta Digital 5.0

Аналізуючи таблиці 3.2 та 3.3, можна зробити висновок, що диференціація значень параметрів Гельмерта в різних програмних засобах ускладнює автоматизацію обробки та аналізу даних для трансформційного поля.

Оскільки системи СК-63 і СК-42 прив'язані до однієї просторової

прямокутної системі координат, «Пулково 1942 року», то параметри трансформації Гельмерта для СК-63 повністю збігаються з параметрами трансформації для СК-42. Параметри перетворення Гельмерта з системи СК-63 (СК-42) в систему УСК-2000, можуть бути отримані за допомогою параметрів перетворення цих систем із системою WGS-84 з використанням методу, описаного в [20] на основі параметрів Гельмерта між системами СК-63(СК-42) – WGS-84 та між системами WGS-84 – УСК-2000.

Трансформація з координат системи WGS- 84 в УСК-2000 здійснюється за допомогою методу Гельмерта з використанням відповідних параметрів показаних у таблиці 3.4.

**Таблиця 3.4. Параметри трансформації з систем координат
СК-73 (СК-42) в УСК-2000**

Параметр	від WGS-84 до УСК-2000	від СК- 63 (СК- 42) до WGS-84	від СК-63 (СК- 42) до УСК-2000
Епоха	2005	-	-
μ (ppb1)	1,74	0, 0	1,74
ΔX (м)	-24,3234	25,0	0,6766
ΔY (м)	121, 3708	-141,0	-19,6292
ΔZ (м)	75,8275	-78,5	-2,6725
R_x (arc sec)	0,00000	0,000	0, 00000
R_y (arc sec)	0,00000	0, 350	0,350
R_z (arc sec)	0, 00000	0,736	0,736

Для визначення параметрів трансформації з СК-63 до УСК- 2000 використано правило, сформульоване згідно з яким: якщо всі кутові параметри та масштабний коефіцієнт є величинами першого порядку малості, то параметри перетворення Гельмерта для переходу від першої до n-ї системи координат дорівнюють сумі відповідних параметрів. між усіма попередніми системами координат, отриманими на одну епоху.

Визначення 7 параметрів Гельмерта для перерахунку координат з

еліпсоїда WGS-84 до Національного – Красовського виконували наступним чином:

1. Перетворено координати із еліпсоїда WGS-84 до Красовського використовуючи Національний «грід» [1]
2. Складено каталоги сумісних перманентних станцій у двох системах для кожної зони СК 63.
3. За формулами оберненого трансформування обчислено 7 параметрів Гельмерта.

Отже нами визначено 7 параметрів трансформації для кожної зони СК63. Для отримання різними організаціями однозначних результатів дані параметри слід ввести у програмне забезпечення обрахунку координат статичним методом, або у польовий RTK контролер. Як вихідні координати (бази) для статичних спостережень слід використовувати координати перманентні станції.

Згідно інструкції користувача статичних приймачів віддаль до бази слід вибирати від 15 та 50 км для одно та двочастотних відповідно. Також згідно нормативних документів встановлено, що цю віддаль можна збільшити у 2-3 рази без втрати точності.

Трансформування координат із системи координат СК-42 / СК-63 в систему координат УСК-2000 з використанням трансформаційного поля в форматі NTV2 в середовищі ArcGIS. Для переходу від застарілих малоточних систем координат СК-42 та СК-63 Науково-дослідним інститутом геодезії та картографії (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 [20].

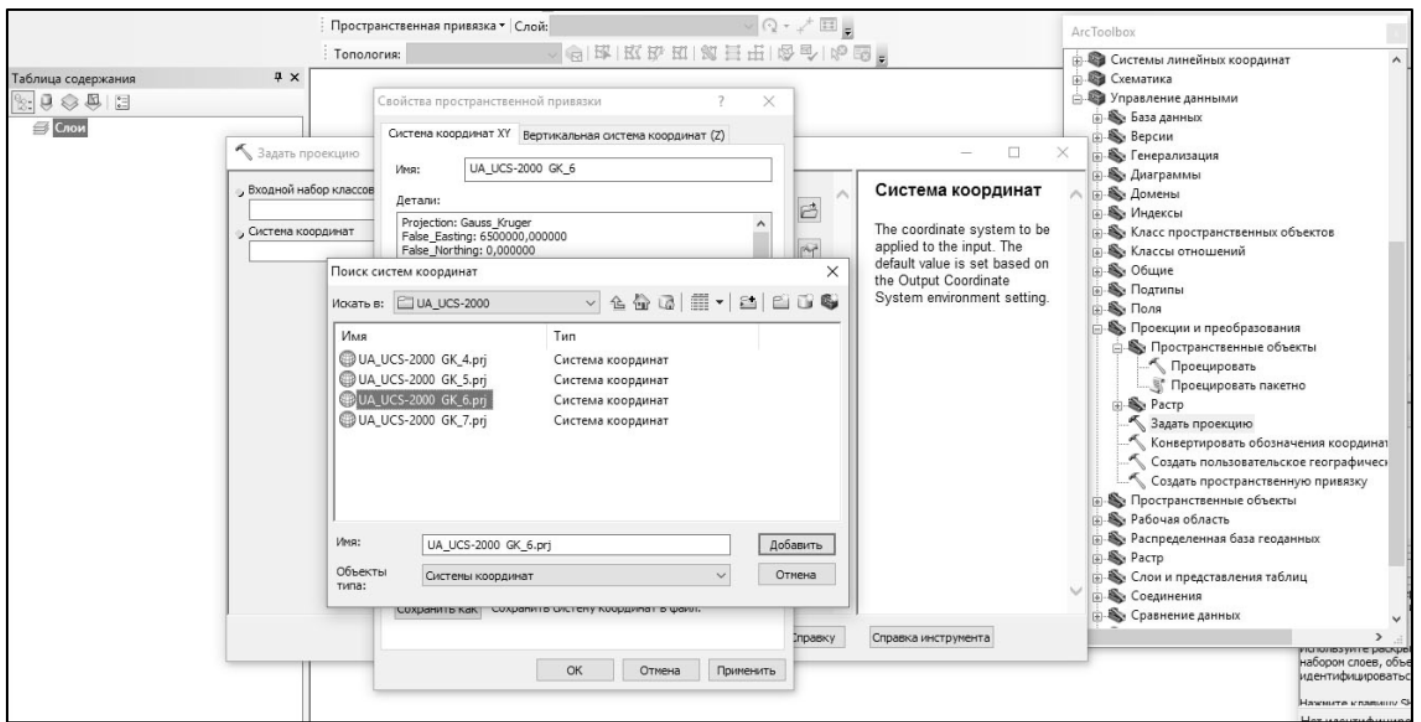


Рис. 3.10. Фрагмент використання опису системи координат УСК в ArcGIS

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.

Файл трансформаційного поля NTV-2 складається з двох частин:

- загальна інформація про трансформаційне поле;
- трансформаційне поле в межах території України у вигляді окремих значень поправок від геодезичних координат B, L в системі координат СК-42 до геодезичних координат B, 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.

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

Розроблені в Науково-дослідному інституті геодезії та картографії додатки в середовищі геоінформаційної системи ArcGIS дозволяють значно автоматизувати процес оброблення даних та забезпечують ефективне використання є 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.

Розроблені додатки в середовищі ArcGIS забезпечують розвиток інфраструктури використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 у практичних роботах в усіх сферах топографо-геодезичної, землевпорядної, містобудівної та іншої діяльності, яка засновується на використанні геоінформаційних технологій.

Для практичного використання, ITRS конвертується в регіональні системи координат, такі як WGS 84 чи ETRS89. Це дозволяє забезпечити сумісність та єдність визначення координат. Геоцентрична система координат відображена графічно на рис. 3.11.

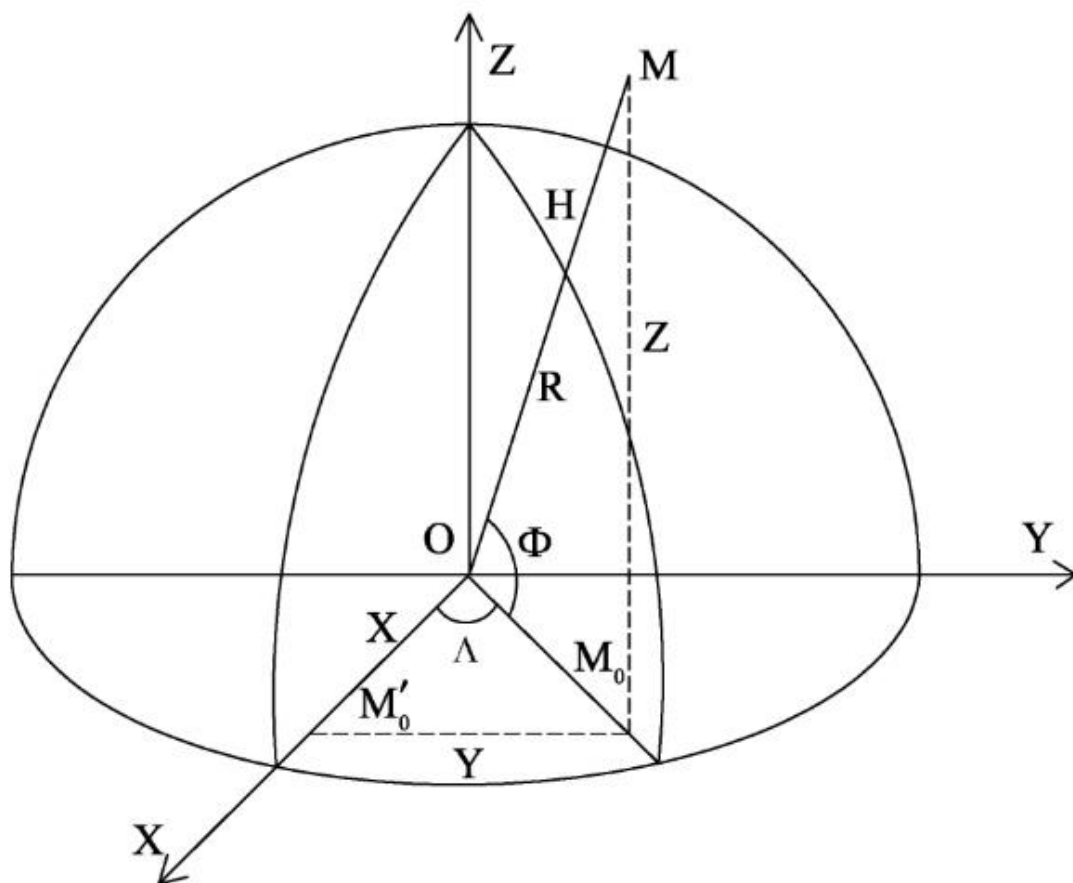


Рис. 3.11. Геоцентрична система координат

Переведення ITRS/ITRF2000 до координат УСК-2000 проводиться за допомогою методу Гельмерта та наведених нижче параметрів:

$$\begin{aligned} \Delta X &= -24.322 \text{ м}; & \epsilon X &= 0''; & \mu &= 0, \\ \Delta Y &= 121.372 \text{ м}; & \epsilon Y &= 0''; \\ \Delta Z &= 75.847 \text{ м}; & \epsilon Z &= 0''; \end{aligned}$$

де ΔX , ΔY , ΔZ – є величинами зміщення центра системи координат ITRS відносно системи УСК-2000.

ϵX , ϵY , ϵZ – значення кутів повороту осей системи ITRS/ITRF2000 системи УСК-2000,

μ – значення зміни масштабного коефіцієнта.

Практично реалізується дана система за допомогою ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Реалізація системи координат ITRS за допомогою декартових координат для ряду опорних пунктів на Землі в ITRF

передбачає вказання їх прямокутних координат (X , Y , Z) та швидкостей вздовж відповідних координатних осей V_x , V_y , V_z , які визначаються тектонічними рухами земної кори.

Перелік пунктів оновлюється кожні кілька років. Сучасна точність вимірювань настільки висока, що дозволяє вимірювати швидкість переміщення пунктів до 0,5 мм/рік і надає можливість визначати швидкості руху літосферних плит.

ВИСНОВКИ

Сьогодні актуальними є питання удосконалення системи державного управління земельними ресурсами, вирішення завдань, пов'язаних з вибором оптимального шляху перебудови національної системи відліку. Не менш важливими є напрями удосконалення інформаційних баз даних, нормативно-грошової оцінки земель, механізму контролю за використанням та охороною земель сільськогосподарського призначення тощо. Врахувавши актуальність даного питання була обрана тема кваліфікаційної роботи «Дослідження систем координат для виконання топографо-геодезичних робіт в Україні».

Основним завданням кваліфікаційної роботи стало дослідження референцних систем координат, які використовуються на території України для виконання геодезичних робіт, зокрема: світову геодезичну систему відліку 1984 року (WGS-84) Державну геодезичну референцну систему координат України (УСК-2000), систему геодезичних координат 1942 року (СК-42), умовну систему координат 1963 року (СК-63), (), СК42 (), СК63 (), Міжнародну Земну референцну систему (ITRF) та Міжнародну Земну референцну систему (ITRS).

Застосування сучасних супутникових технологій в практиці геодезичного та картографічного забезпечення доводить, що ефективне використання глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) в системі координат СК- 42 чи похідній СК-63 здебільшого неможливе через причини:

- відсутність однозначних параметрів зв'язку з іншими референцними системами, які поширені у Європі;
- система координат СК-63 не забезпечує на необхідному рівні точності однозначного переходу до загальноземної референцної системи координат ITRS (її реалізацій ITRF);
- похибки взаємного положення пунктів ДГМ у системі координат СК-63 на відстанях 50-100 км можуть досягати 1 м та більше, що не

дозволяє з необхідною точністю виконувати геодезичну прив'язку до пунктів ДГМ чи інших мереж, які будуються з використанням GNSS технологій;

- деформація ДГМ у системі координат СК-63 у межах зон використання місцевих систем координат не забезпечує з необхідною точністю визначення параметрів переходу до місцевих систем координат.

Проаналізувавши нормативно правову-базу в сфері дослідження систем координат для виконання топографо-геодезичних робіт в Україні, було встановлено, що всі геодезичні роботи на території України, починаючи з 2007р. здійснюються із застосуванням Державної геодезичної референцної системи координат УСК- 2000. Однак, в Законі України «Про топографо- геодезичну та картографічну діяльність» систему координат УСК- 2000 не згадано. Тільки Постановою Кабінету Міністрів України № 646 від 07 серпня 2013 року « Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України “Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність” уточнюється стаття 12 вищезазначеного закону.

Для території України, як основну координатну систему для відображення геопросторової інформації, використовується Державна геодезична референцна система координат УСК-2000, для населених пунктів рекомендується використання місцевих систем координат, які утворені від системи УСК-2000.

Перехід до системи координат УСК-2000 створив ряд проблем. Фінансові проблеми, пов'язані з витратами на перерахунок координат точок вже сформованих ділянок з системи СК- 63 в систему УСК-2000. З введенням нової системи координат вже існуюча документація на земельні ділянки миттєво, застаріла, тому що містить координати точок в старій системі. Застарілі документи необхідно замінити новими. Податки на землю розраховуються по відношенню до нормативної вартості ділянки, яка залежить від її площі. Площа ділянки в системі УСК-2000 виявилася відмінною від площі тієї ж ділянки в системі СК-63. Неможливо чітко

відокремити одну проблему від іншої.

Перехід до нової системи координат УСК-2000 забезпечує ряд переваг, а саме:

- точність у проведенні топографо-геодезичних і картографічних робіт у порівнянні з класичними геодезичними вимірюваннями;
- можливість тісної інтеграції у світовий інформаційний простір;
- узгодженість з Міжнародною загальною землею референсною системою координат ITRS;
- забезпечення універсального, надійного й достатньо точного математичного зв'язку між усім спектром проекцій;
- можливість обміну базами даних між усім спектром проекцій;
- максимально широке застосування комп'ютерних технологій на стадії вибору проекції, що найпридатніші для розв'язання поставлених завдань різного рівня практичного використання;
- можливість обміну базами даних в автоматичному режимі за необхідного контролю і з достатньою точністю; можливість приведення до єдиного масштабу відображення у відповідному координатному середовищі.

На етапі опанування технологією координатного перетворення та трансформування між основними системами координат, що застосовуються в Україні було проаналізовані методи координатного трансформування та координатного перетворення систем координат та описано методику переходу з однієї системи координат в іншу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аврамчук Б.О., Патюк О.О. Деякі питання відповідності системи координат УСК-2000 земельному законодавству. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2019. № 1. С.77-85. URL: <https://cutt.ly/LwDw2Uq1>
2. Анисенко О.В., Рощенко В. А. Сучасний стан розвитку державної топографо-геодезичної мережі України. *Агросвіт*. 2018. № 21. С. 22-27 URL: <http://www.agrosvit.info/?op=1&z=2746&i=3>
3. Білокриницький С. М., Геодезія: навч. посібник. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2011. 576 с.
4. Боровий В., Зарицький О. Застосування нової референцної системи координат УСК-2000. *Землевпорядний вісник*. 2017. № 5. С. 22-26.
5. Боровий В.О., Зарицький О.В., Кінь Д.О. Технологія координатного перетворення та трансформування при геодезичних та землевпорядних роботах. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. URL: <https://cutt.ly/1wDw9L0R>
6. Віват А.А, Рій І.І, Бочко О.О. Карпінський Ю.О. Однозначність визначення координат у системі 63 року: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 18 травня. 2016. с. 101-104. URL: <https://cutt.ly/AwDtsx4s>
7. Відомість перетворення координат з СК-63 в УСК-2000. *Digitalis*: веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/6wDtKOGN>.
8. Геодезичний енциклопедичний словник. / за ред. Володимира Літинського. Львів: Євросвіт, 2001. 668 с.
9. Грабовий В.М. Геодезія: навч. посібник. Житомир: ЖДТУ, 2006. 455 с.
10. Гурник М.К. Виконання геодезичних робіт із застосуванням RTK технологій : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 14 квітня 2021. с. 84-87. URL: <https://cutt.ly/BwDtP98C>.
11. Деякі питання застосування геодезичної референцної системи координат: Постанова Кабінету Міністрів України від 22.09.2004. №646. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF%20Text>

12. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність»: Постанова Кабінету Міністрів України від 07.08.2013. №646. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-%D0%BF_Text3
13. Жилінський В.Л., Додурич В.В., Бойко О.Г. Актуальні питання забезпечення топографо-геодезичними даними кадастрових робіт в Україні. *Збірник наукових праць*. 2011. № 19. С. 86-89. URL: <https://cutt.ly/NwDtATSF>.
14. Задемленюк А. В. Про сучасний стан координатного забезпечення та перспективи його вдосконалення для задач кадастру. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2008. № 70. С. 14-20.
15. Задемленюк А.В. Про сучасний стан координатного забезпечення та перспективи його вдосконалення для задач кадастру. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2008. № 70. С. 14-20. URL: <https://cutt.ly/GwDtKNDI>.
16. Заєць І.М., Карпінський Ю.О. Інфраструктура єдиної високоточної системи координат існує. *Вісник геодезії та картографії*. №4, 2011. с. 4-9. URL: <https://cutt.ly/DwDtSH0b>.
17. Заєць І.М., Карпінський Ю.О. Основні засади використання геодезичної референцної системи координат УСК-2000 для забезпечення ведення державного земельного кадастру. *Вісник геодезії та картографії*. №27, 2014. с. 9-11. URL: <https://cutt.ly/3wDtDqLY>.
18. Земельний кодекс України від 25.10.2001 №2768. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14_Text
19. Інженерна геодезія. Основи інженерної геодезії: підручник / Войтенко С.П., Шульц Р.В., Самойленко О.М., Адаменко О.В., Александровський І.Р., Малащук О.С., Юрковський Р.Г., Мовчан Т.В., Булишева Д.В. // за ред. Войтенка С.П. Одеса: Прес-курер, 2021. 632 с.
20. Карпінський Ю.О. Афінне трансформувannya координат методом скінченних елементів. *Вісник геодезії та картографії*. 2002.

№ 4(27).С. 23-27.

21. Карпінський Ю.О. Використання державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 у середовищі ARCGIS ESRI. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. № 31. С. 725-733. URL: <https://cutt.ly/4wDtDvVe>.
22. Ковальчук В.С. Державна система координат УСК-2000 та її зв'язок з іншими світовими системами координат : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Суми, 19-21 кв. 2017. с. 222. URL: <https://cutt.ly/lwDtHxw9>.
23. Кубах С.М., Черняга П. Г. Використання референцних систем координат при виконанні кадастрових робіт. *Вісник геодезії та картографії*. 2011. № 3 (72). С. 36-41. URL: <https://cutt.ly/QwDtG3Pg>.
24. Куліковська О.Є. Аналіз геодезичного забезпечення території Криворізького регіону. *Гірничий вісник*. 2014. № 98. С. 32-39. URL: <https://cutt.ly/iwDtDBnP>.
25. Кучер О.В., Куриляк І. С., Староверов В.С., Кошелюк Н.К. Дослідження методики трансформування геодезичних, топографо-картографічних та кадастрових матеріалів у систему координат УСК-2000. *Інженерна геодезія*. №64, 2017р. с. 28-43. URL: <https://cutt.ly/KwDtFyns>.
26. Мазурак І.І. Дослідження систем координат в геодезії : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 13-14 кв. 2021. с. 265-268. URL: <https://cutt.ly/GwDtFvkL>.
27. Марченко К.Р., Третяк К.Р., Ярема Н.П. Референцні системи в геодезії : навч. посіб. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2013. 215 с.
28. Могильний С.Г., Войтенко С.П. Геодезія: Чернігів: Чернігівські береги, 2002. 408 с.
29. Островський А.Л., Мороз О.І., Тартачинська З.Р., Герасимчук І.Ф., Геодезія: підручник. Львів, Львівська політехніка, 2011. 450 с.
30. Пішко Ю. Уточнення формул середніх квадратичних помилок довжин векторів, визначених за результатами спостережень GPS-приймачами. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2012. № 1 (23). С.

87-90.

31. Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84: Постанова Кабінету Міністрів України від 22.12.1999. №2359. URL: <https://cutt.ly/iwDtH2D4>.
32. Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою: Наказ від 02.12.2016 №509. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16> Text.
33. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність: Закон України від 23.12.1998р №1259. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14> Text.
34. Радченко Я.І. Аналіз впливу перетворення координат в УСК-2000 на лінійні параметри земельних ділянок з використанням GEOTRANS : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Дніпро, 23-25 листопада 2022. с. 163-165. URL: <https://cutt.ly/swDtFVSI>.
35. Романчук С.В., Кирилюк В.П., Шемякін М.В. Геодезія. Навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 296 с.
36. Рукас Т.В. Українська ГНСС-мережа в Полтавській області : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 14 квітня 2021. с. 223-228. URL: <https://cutt.ly/vwDtGlFK>.
37. Савчук С. Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2007. № 69. С. 20-33.
38. Савчук С. Г., Задемленюк А. В., Піскорівський А.Я. Експериментальні дослідження точності визначення координат методом RTK з використанням GPRS INTERNET з'єднання. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. № I (17). 2009. С. 58-69.
39. Савчук С.Г., Гринишина-Полюга О.Я. Встановлення вихідних координат референцних станцій мережі ZAKPOS. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2009. № 72. С. 3-13.
40. Тарапатов М.М. Державна референцна система координат УСК-2000 та и

- зв'язок із іншими світовими і європейськими системами координат. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії*. №3, 2007. с. 174-180. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbgo_2007_7_47
41. Тельнов В.Г. Геодезія: навчальний посібник. Дніпро: НТУ, 2019. 317 с.
42. Черняга П., Кубах С. Переваги та недоліки різних систем координат та геодезичних проекцій під час ведення земельного кадастру. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2010. Вип II (20). С.62-66.
43. EUPOS Technical Standards. *EUPOS* : веб-сайт. URL: http://www.eupos.org/sites/default/files/EUPOS%20TS-R23_2_0.pdf (дата звернення 12.12.2023).
44. EUREF Permanent Network. *EPNCB*: веб-сайт. URL: http://www.epncb.oma.be/_organisation/projects/series_sp/ (дата звернення 13.12.2023).
45. EUREF Technical Working Group. *Cutt* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/ZwDtJHVP> (дата звернення 14.12.2023).
46. IGS (International GNSS Service). *Cutt* : веб-сайт. URL: <https://cutt.ly/zwDtKkbb> (дата звернення 15.12.2023).
47. IGS Data Centers. *IGS* : веб-сайт. URL: <http://www.igs.org/about/data-centers> (дата звернення 16.12.2023).