

УДК 528.3

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ РІЗНИХ СИСТЕМ КООРДИНАТ ТА ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРОЕКЦІЙ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

П. Черняга

Національний університет “Львівська політехніка”

С. Кубах

Державний комітет України із земельних ресурсів
Проект “Видача державних актів на право власності на землю
у сільській місцевості та розвиток системи кадастру”

Ключові слова: система координат, геодезична проекція, земельний кадастр.

Постановка проблеми

Сучасний ринок земельних відносин ставить високі вимоги до обліку даних суб'єктів господарювання, об'єктів та їх прав. В адміністративно-територіальних одиницях держави на рівні області та району ведеться облік, на основі якого створюються автоматизовані інформаційні системи для ведення земельного кадастру. Збирання інформації та реєстрація земельних ділянок, а також їх власників здійснюється на рівні районів, областей і країни в загальному державному реєстрі. Тут об'єднавчим фактором повинна виступати єдина координатна основа, яка дає змогу реєструвати всі земельні ділянки в єдиному геопросторовому просторі з фіксацією меж та розміщенні об'єктів на них однозначно [15]. Такий єдиний геопросторовий простір буде забезпечений у разі застосування супутникових технологій та чіткої позиції щодо механізму переходу з різних систем координат до загальнодержавної в різних регіонах країни. Доведено [3], що використання сучасних супутникових технологій за системи координат СК-42 та її похідних у багатьох випадках неможливе.

Нині кваліфіковані спеціалісти, які виконують роботи з інвентаризації та межування земель, упевнено довели, що супутникові технології з визначення координат мають велике майбутнє і будуть широко використовуватися для геодезичного забезпечення не тільки під час ведення кадастрів, але й під час інженерних вишукувань, забезпечення будівництва, експлуатаційного утримання споруд тощо. Відповідно, постійно діючі (перманентні) GNSS-станції, що створюються для забезпечення цих технологій, повинні відповідати чинним виробничим вимогам [17, 18].

Необхідно вирішити проблеми, пов'язані з Державною системою координат УСК-2000. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 р. № 1259 [9], якою вона введена, не виконується. Нині створені каталоги всіх пунктів триангуляції і полігонометрії 1–4 класів у системі УСК-2000, але з ними неможливо працювати в умовній системі СК-63 та місцевих системах координат, оскільки відсутній безпосередній зв'язок між цими системами з необхідною точністю. Щоб виконати цю постанову, необхідно розробити певний механізм її реалізації, зважаючи на широке використання як сучасних супутникових технологій, так і традиційних геодезичних вимірювань [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються цієї проблеми

Нині під час геодезичних робіт, зокрема для цілей земельного кадастру, застосовують декілька різних типів геодезичних систем координат: СК-42/СК-63, УСК-2000, місцеві системи координат районів і міст [2, 3, 7, 8].

Основне завдання, що розв'язується під час встановлення системи координат – забезпечення математичного зв'язку між величинами, вимірюваними на фізичній поверхні Землі, та їх відображенням на математичній поверхні. У земельному кадастрі застосування проекції Гаусса–Крюгера у плоских 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 [1, 4].

На відміну від більшості країн, де масштаб зображення на осьовому меридіані приймається відмінним від одиниці (наприклад, у проекції

UTM він дорівнює 0,9996), в Україні цей спосіб зменшення спотворень, які є наслідком переходу від частини поверхні еліпсоїда до площини у прийнятій проекції, дотепер не використовується. І хоча це дещо спрощує формули проекції, але призводить до значних спотворень на краю 6-градусної зони, які становлять майже 30 см на 1 км. Спотворення площ при цьому можуть досягати до 60 м² на 1 га.

Сьогодні Держкомзем для всіх суб'єктів вводить для подання результатів геодезичних вимірювань у земельному кадастрі умовну систему координат СК-63. Один з головних недоліків цієї системи – вона основана на застарілій референційній системі координат СК-42, яка за точністю не відповідає завданням ведення земельного кадастру. На віддалених межах районів виникають спотворення зображень ліній на площині й, відповідно, розмірів земельних ділянок. Саме ці обставини вимагають використання для ведення кадастру точнішої системи координат [16].

У сучасних пакетах програм для відображення просторово розподіленої інформації у певному координатному середовищі використовується бібліотека стандартних картографічних проекцій. Досвід показує [6], що вибір проекцій з обширних бібліотек обмежується, як правило, найпоширенішими із них. Нині пропонується як альтернатива стандартним бібліотекам картографічних проекцій раціонально підібраний клас проекцій, що допускає можливість автоматизованого пошуку проекції та забезпечує мінімально можливі спотворення при зображенні різних за розмірами і формою границь територій [2].

Постановка завдання

Метою цієї статті є аналіз стану використання референційних систем координат з погляду сучасних вимог геодезичного й картографічного забезпечення ведення кадастру об'єктів нерухомості, інженерних вишукувань, містобудівної діяльності. Аналіз виконаний за критеріями точності й вірогідності інформації, можливостями реалізації потенціалу сучасних супутникових технологій, а також можливостями модернізації місцевих систем координат і геодезичних мереж, на яких вони основані.

Виклад основного матеріалу дослідження

Система координат СК-42 створювалася у першій половині ХХ століття за допомогою побудови мереж триангуляції, трилатерації й полігонометрії. Чіткі інструкції, за якими була побудована державна геодезична мережа (ДГМ) СРСР, дали змогу одержати “однорідну” висо-

коточну геодезичну мережу, у якій вимірювання характеризуються такими величинами: середня квадратична похибка кута (за нев'язками трикутників) становила $\pm 0,7''$; $\pm 1''$ відповідно для 1 і 2 класів, відносні похибки базисних сторін – не більше ніж 1:300 000. Для поширення ДГМ на території країни мережа зрівнювалася “нанизуванням” полігонів 1-го класу у міру її просування із заходу на схід. Але найважливішою обставиною, що має і до сьогодні велике значення для земельного кадастру, є те, що під час математичного опрацювання вимірів заповнюючі мережі 2 класу вставлялися у жорсткі каркаси полігонів 1 класу. Це призводило до спотворення елементів мережі, особливо в місцях, де мережі 2 класу примикали до рядів 1 класу. Точність зрівноважених елементів мережі характеризується відносними похибками сторін у слабких місцях: близько 1:150 000 для 1 класу й 1:300 000 для 2 класу. В окремих випадках похибки в сторонах 2 класу, розташованих поблизу пунктів 1 класу, перевищують 0.5 м. Характеристики слабких місць ДГМ наводяться у каталогах координат геодезичних пунктів, доступ до яких мала обмежена кількість фахівців. За їхніми даними у місцях, де мережі 2 класу примикають до рядів 1 класу, спотворення сторін можуть перевищувати 20 см. З погляду ведення земельного кадастру це означає, що взаємне положення суміжних пунктів у мережі може досягати значних величин і вони не можуть бути вихідними для прив'язки навіть межових знаків [12, 13].

Тимчасово введена в 1963 р. як система координат для цивільних користувачів СК-63 була прогресивною для свого часу, тому що ґрунтувалася на триградусних зонах, і відповідно, вимірювані величини на фізичній поверхні достовірніше відповідали відображенню на математичній поверхні. Її практичне впровадження на території всієї країни становило певні труднощі. Обчислення редуційних поправок у цій системі також було проблематичним через закритість переходу від СК-42 до СК-63 і назад.

Система координат УСК-2000 була введена як державна 1 січня 2007 р. Носієм координат цієї системи є ДГМ. Це державна геодезична референційна система координат, отримана у результаті сумісного зрівноваження близько 800 пунктів супутникової мережі та результатів класичних геодезичних вимірювань на більш ніж 20 000 пунктів ДГМ, строго узгоджена з референційною системою ITRF2000.

Одним з прикладів локальних геодезичних систем координат і відповідно локальних геодезичних мереж є міські геодезичні системи координат і відповідно міські геодезичні мережі, які залежно від потреб конкретного міста містять такі їх різновиди:

- міська знімальна мережа (міська геодезична мережа у традиційному значенні);
- межова мережа (геодезична мережа, призначена для інвентаризації земель і земельно-кадастрових робіт);
- геодинамічна мережа (звана інколи інженерно-геодезичною або спеціальною).

Основні технічні характеристики міських геодезичних мереж наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Різновиди локальних (міських)
геодезичних мереж**

Назва мережі	Характеристики точності
Міська знімальна мережа	≤ 5 см
Межова мережа	≥ 5 см
Геодинамічна мережа	≤ 1 мм

Треба враховувати, що точність задана на відліковій поверхні, що визначає середній рівень міста і відмінної від нульової поверхні Державної системи висот, а іноді на спеціальній відліковій поверхні, відмінній від середнього рівня міста і максимально наближеній до фізичної поверхні Землі.

З урахуванням необхідності забезпечити централізованість, варто звернути увагу на створення таких систем координат, які давали б змогу бачити загальну картину на рівні адміністративного суб'єкта й ухвалювати взаємно погоджені управлінські рішення на різних рівнях. Для цього в областях необхідно створити системи координат, що найбільше підходять для цієї території й математично пов'язані з Державною системою координат.

Проте у наявних автоматизованих системах ведення земельного кадастру досі відсутній механізм автоматизованого узгодження меж і площ суміжних землекористувань. Особливої актуальності таке узгодження набуває у зв'язку з підвищенням вартості землі, особливо у межах великих муніципальних утворень. У нашому випадку це безпосередньо стосується процедур узгодження меж і площ суміжних кадастрових ділянок. За такого узгодження виникають розбіжності, викликані відмінністю систем координат, кривиною Землі, похибками вимірів і межувань. Їх усунення, як і розділення землі на окремі ділянки, є основним завданням землемірів з часів

Давнього Єгипту. Складності її формалізації вельми істотно утруднюють створення автоматизованих систем інвентаризації земель.

Основна умова для земельного кадастру – забезпечення мінімальних спотворень площ ділянок на території суб'єкта. Найраціональнішим видається шлях, коли осьовий меридіан зони проекції Гаусса–Крюгера проходить через центр території, а виміри редукуються на рівень території. Якщо ж район займає більшу територію й витягнуто ще за паралеллю, що спостерігається в реальних умовах, то для цього треба шукати інші рішення для зменшення спотворень.

Як уже зазначалося, одним із важливих завдань, яке вирішується під час встановлення системи координат, є забезпечення математичного переходу від величини, вимірюваної на фізичній поверхні, до її відображення на математичній поверхні. У геодезії цей перехід здійснюється введенням у результати вимірювань редуційних виправлень. Для прикладу розглянемо редукування лінії, вимірюваної на фізичній поверхні, на математичну площину у проекції Гаусса–Крюгера для шестиградусної зони з параметрами референс-еліпсоїда Красовського. У цьому випадку довжина лінії на математичній площині така:

$$d = D + \Delta_h + \Delta_H + \Delta_P, \quad (1)$$

де D – виміряна довжина лінії на фізичній поверхні Землі; Δ_h – поправка у лінію за приведення її до горизонту; Δ_H – поправка у лінію за приведення її на рівень моря та еліпсоїд; Δ_P – поправка у лінію за приведення її на площину у проекції Гаусса–Крюгера.

Для обчислення поправки Δ_h необхідно знати різницю висот між кінцевими точками лінії, для поправки Δ_H – висоту лінії над поверхнями геоїда та еліпсоїда, а для обчислення поправки Δ_P – віддаленість y_m середньої точки вимірюваної лінії від осьового меридіана. Якщо зважити на те, що всі вихідні дані для формули (1) є відомими (висоти точок у балтійській системі, висоти геоїда над еліпсоїдом Красовського, довготи осьових меридіанів), то обчислення поправок Δ_H і Δ_P є достатньо простою задачею [14]. Проблема полягала у тому, що масовий користувач, особливо у землевпорядних організаціях, не має змоги отримати ці дані через закритий доступ до них.

Значення поправок за редуцію на еліпсоїд і за редуцію на площину обчислимо у системах координат УСК-2000, СК-42/СК-63 для лінії, завдовжки 1000 м згідно з [14].

Таблиця 2

**Поправки у виміряну лінію ($D = 1000 \text{ м}$)
в системі координат УСК-2000, СК-42/СК-63**

Висота, m	$y_m, \text{ км}$						
	0	50	100	125	150	200	250
0	0,000	0,031	0,123	0,192	0,276	0,491	0,768
250	-0,039	-0,008	0,084	0,153	0,237	0,452	0,729
500	-0,078	-0,048	0,044	0,114	0,198	0,413	0,689
750	-0,118	-0,087	0,005	0,074	0,159	0,374	0,650
1000	-0,157	-0,126	-0,034	0,035	0,120	0,335	0,611

Як видно із табл. 2, поправки можуть бути зовсім невеликими і досягати значних величин. Тому треба визначитись про введення цих поправок у результати вимірювань або обмежитись лише введенням поправки Δ_h . Якщо зважити на те, що ср. кв. похибка лінійних вимірів (у відносній мірі) при створенні планової основи повинна бути не меншою за 1/4000, то це становитиме 0,25 м на один кілометр. Похибками, якими можна знехтувати, вважаються такі похибки, що не перевищують 10 – 20 % від середньоквадратичної. Якщо візьмемо її величину у 20 %, то отримаємо 0,05 м на кілометр.

Система координат СК-42/УСК-2000. Ширина зони у системах СК42/УСК2000 дорівнює 6 градусам. Для території України максимальна відстань від осьового меридіана до краю зони становить близько 250 км. Як видно із табл. 1, на краю зони поправки за редукування можуть досягати 0,76 м на 1 км. Однак варто відзначити, що в діапазоні: висот від 0 до 500 м і на відстані від осьового меридіана від 0 до 50 км редукації є доволі малими (3–5 см) і тому на кожному окремому об'єкті, залежно від його призначення та технічних вимог, необхідно оцінювати поправки за редукації й приймати рішення щодо доцільності їх уведення у виміряні лінії.

Зауважимо, що зрівноваження геодезичних ходів виконується переважно за способом найменших квадратів за умови відсутності у результатах вимірювань систематичних похибок. Тому, не враховуючи редукаційних поправок, які є систематичними, зрівноваження цим методом некоректне. Можливо, це і є однією із причин сумнівності окремих результатів зрівноваження та пошуку “нових” методів математичного опрацювання геодезичних вимірювань.

Ця проблема раніше й сьогодні вирішується переходом до умовних систем координат, що також задають математичну поверхню для операцій з лінійними й площинними об'єктами.

Умовна система координат СК-63. Ширина зони в системі СК-63 становить 3 градуси, макси-

мальна відстань до краю зони – близько 125 км. Враховуючи, що здебільшого відстань від осьового меридіана рідко досягає 100 км, можна зробити висновок про те, що переважно поправки за редукацію виміряних ліній будуть невеликими (табл. 2). У цьому випадку, якщо всі необхідні параметри для формули (1) відомі, то можна розрахувати й оцінити величину поправок за редукацію.

Нині накопичений великий досвід застосування геодезичних проекцій для математичної обробки геодезичних вимірів і картографічних проекцій для створення карт. Характерною особливістю геодезичних проекцій є висока точність обчислень та їх обмежена кількість, що використовують на практиці (Гаусса–Крюгера, УТМ, Ламберта тощо) [2]. Для створення карт різного призначення використовується широкий спектр проекцій, розроблені теоретичні основи і критерії пошуку ідеальних, найкращих проекцій. Зазначимо, що точність обчислень у проекціях для цифрових і електронних карт повинна істотно перевершувати графічну точність традиційних карт і бути не нижчою за точність обчислень в геодезичних проекціях.

На нашу думку, для створення картографо-геодезичної основи автоматизованих технологій кадастру, проектування, будівництва та експлуатації інженерних об'єктів, необхідний спеціальний клас проекцій, формування яких можливо в автоматичному режимі. Такі проекції повинні об'єднувати переваги геодезичних і картографічних проекцій: високу точність, різноманітність і належність до форми і розмірів території, що зображуються на них. Нині це можливо тому, що не існує проблеми обсягу обчислень, а цифрова або електронна карта є спеціальною базою даних про земну поверхню і об'єкти на ній, подані з тією точністю та детальністю, яка необхідна та забезпечується сучасними вимірювальними засобами і технологіями її формування.

Висновки

Подальше підвищення удосконалення планових координат і вимірів на фізичній поверхні Землі може бути досягнуте лише створенням і функціонуванням локальних (місцевих) геодезичних систем координат.

Треба зазначити, що маючи геодезичну систему координат, ми маємо на увазі проекцію, яка буде похідною від неї, початкові параметри й алгоритм обчислень якої відомі. Визначимо вимоги до умов створення й використання геодезичних проекцій для адміністративних суб'єктів:

- універсальність і спільність алгоритму, що дає змогу просто й цілеспрямовано одержати широкий спектр проекцій;

- 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.

Література

1. Будников В.Т., Колевид Т.К., Лобазов В.Я. Вопросы координатной основы кадастровых работ // Геопрофи.– 2004. – № 6. – С. 49–52.
2. Барановський В., Карпінський Ю., Кучер О., Ляшенко А. Топографо-геодезичне та картографічне забезпечення ведення Державного земельного кадастру. Системи координат та картографічні проекції. – К., 2009. – 95 с.
3. Державна картографо-геодезична служба України (1991–2006) / За ред. Р.І. Сосси. – К.: НДІГК, 2006. – 376 с.
4. Демьянов Г.В. Геодезические системы координат, современное состояние и основные направления развития // Геодезия и картография. – 2008. – № 9. – С. 17–20.
5. Лихогруд М. Концептуальні засади ведення державного земельного кадастру в Україні // Землевпорядний вісник. – 2006. – № 3. – С. 5–9.
6. Пация А.М. Выбор проекции для территории субъекта Российской Федерации // Геодезия и картография. – 2008. – № 7. – С. 25–28.
7. Положення про порядок встановлення місцевих систем координат, № 245 від 3.07.2001 р. (Нормативні документи Міністерства екології та природних ресурсів України).
8. Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS-84, № 2359 від 22.12.1999 р. (Постанови Кабінету Міністрів України).
9. Про деякі питання застосування геодезичної системи координат: Постанова Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 р. № 1259. – К., 2004.
10. Про утворення державної мережі моніторингу глобальних навігаційних супутникових систем, № 486 від 7.04.2003 р. (Постанови Кабінету Міністрів України).
11. Правила установалення місцевих систем координат. Утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 3 марта 2007 г. № 139.
12. Приказ Федеральной службы земельного кадастра России № П/256 от 28 марта 2002 г. “О введении местных систем координат”. <http://www.inpravo.ru/data/base637/text637v656i758.htm>.
13. Приказ Федеральной службы земельного кадастра России № П/261 от 15 апреля 2002 г. “Основные положения об опорно-межевой сети”. <http://www.kadastr.ru/documents/docs/3174/>
14. Савчук С.Г. Вища геодезія. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 315 с. (Підручник).
15. Савчук С.Г. Оцінка сучасного стану використання референціальних систем координат в Україні // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2008. – Вип. I (15). – С. 61–69.
16. Черняга П., Янчук Р., Третяк К. Організаційні та технологічні недоліки графічної частини автоматизованої системи ведення державного земельного кадастру // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2006. – Вип. II (12). – С. 68–70.
17. EUREF permanent network // <http://www.epncb.oma.be>.
18. ZAKPOS // <http://zakpos.zakgeo.com.ua/>

Переваги та недоліки систем координат та геодезичних проекцій під час ведення земельного кадастру

П. Черняга, С. Кубах

Проаналізовано стан використання геодезичних систем координат з погляду сучасних вимог геодезичного й картографічного забезпечення ведення земельного кадастру та нерухомості.

Преимущества и недостатки существующих систем координат и геодезических проекций при ведении земельного кадастра

П. Черняга, С. Кубах

Проаналізовано состояние использования геодезических систем координат с точки зрения современных требований геодезического и картографического обеспечения ведения земельного кадастра и недвижимости.

Advantages and disadvantages of existing systems of coordinates systems and geodetic projections in the land cadastre conducting

P. Chernyaha, S. Kubakh

The analysis of modern state of geodetic coordinates and projection applied in the land cadastre is discussed in view of the requirements of geodetic and cartographic services.