

**ДЕРЖАВНА РЕФЕРЕНЦНА СИСТЕМА КООРДИНАТ УСК-2000 ТА ЇЇ  
ЗВ'ЯЗОК ІЗ ІНШИМИ СВІТОВИМИ І ЄВРОПЕЙСЬКИМИ СИСТЕМАМИ  
КООРДИНАТ**

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.

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. Будь-яка країна має як мінімум одну модель референц-еліпсоїда. Крім того, майже кожна з них має свою картографічну проекцію (Ламберта, Меркатора, Гаусса-Крюгера, азимутальну та інші), яка розраховується шляхом мінімізації викривлень на територію даної країни.

***Системи координат, що використовуються в Україні.***

*Референцна система координат 1942 року (СК-42)* (оглядово). Система координат 1942 року — референцна система прямокутних координат на площині, яка базується на використанні конформної проекції Гаусса-Крюгера з вихідними даними:

- референц-еліпсоїд Красовського — велика піввісь 6 378 245 м, стиснення 1:298,3;
- висота геоїда в Пулково над референц-еліпсоїдом дорівнює нулю;
- геодезичні координати Пулковської обсерваторії (центр сигналу А): широта —  $59^{\circ}46'15,359''$ , довгота від Гршвіча  $30^{\circ}19'28,318''$ ;
- геодезичний азимут з Пулково на пункт- Бугри —  $121^{\circ}06'42,305''$ ; Центр еліпсоїда Красовського збігається з початком референцної СК, вісь

обертання еліпсоїда рівнобіжна (паралельна) осі обертання Землі, а площина нульового меридіана визначає положення початку відліку довгот. Всі інші параметри еліпсоїда є похідними [4].

Державна нівелірна мережа поширює на всю територію країни систему нормальних висот (Балтійська система 1977 року), вихідним початком якої є нуль Кронштадтського футштока. Прямокутні координати Державної геодезичної мережі обчислювалися на площині в конформній проекції Гаусса-Крюгера в шестиградусних зонах, осьовими меридіанами яких є меридіани з довготами 21°, 27°, 33°, 39°. Початком координат у кожній зоні є точка перетину осьового меридіана з екватором. Значення ординати на осьовому меридіані приймається рівним 500 км.

При топографічних зніманнях у масштабах 1:5 000 і більше крім прямокутних координат у шестиградусних зонах обчислюються прямокутні координати у триградусних зонах. Осьовими меридіанами цих зон у системі координат 1942 року є меридіани з довготами 21°, 24°, 27°, 30° ... 39°.

*Референцна система координат 1963 року (СК-63)* (оглядово). Умовна система координат СК-63 ґрунтується на триградусних зонах, є відкритою системою і у відповідності до діючих нормативно-технічних документів рекомендована як основна для кадастрових знімків. Практичне застосування СК-63 ускладнюється можливістю попадання крупних об'єктів картографування в декілька зон, а також "таємністю" параметрів переходу ("ключів") від державної системи координат до СК-63 при відкритості самих координат в СК-63. Це спеціально спотворена СК, яка базувалася на проекції Гаусса-Крюгера і системі координат 1942 року. За математичною сутністю — це та ж система Гаусса-Крюгера, тільки номенклатура базових карт масштабу 1:100 000 побудована по-іншому.

Прив'язуються топографічні карти СК-63 до стандартної системи СК-42, виходячи з того, що обидві системи ґрунтуються на системі координат Гаусса-Крюгера, рамки аркушів розбиті по географічній сітці, а зміщення сітки кратні цілому числу мінут (одна мінута вздовж меридіана дорівнює 1 морській милі = 1 852 метрам, довжина міноти уздовж паралелі зменшується до півночі і на середніх широтах становить приблизно половину милі). При використанні деяких сучасних методів визначення місцеположення (GPS) необхідно вносити відповідні поправки у результати вимірювань для переходу в систему СК-63.

**Міцеві системи координат.** Положення про порядок встановлення місцевих систем координат було затверджено наказом Міністерства ресурсів 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 [5].

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 Гаусса-Крюгера 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

$$\overset{\mu}{X}(t) = \overset{\mu}{X}_0 + \overset{\mu}{V}_0(t - t_0) + \sum_i \overset{\mu}{\Delta X}_i(t),$$

де  $\overset{\mu}{\Delta X}_i(t)$  — поправки за різні темпоральні ефекти,  $\overset{\mu}{X}_0$  та  $\overset{\mu}{V}_0$  — місцеположення та швидкість на епоху  $t_0$ .

Ці поправки враховують зміну форми Землі іод впливом припливно-відпливних факторів небесних світил, впливів океанів, льодовиків та атмосфери.

Система ITRF реалізується IERS шляхом каталогізації зміни координат та Швидкостей низки пунктів IERS (перманентних станцій), розміщених по всій земній кулі. На даний час каталоги реалізації ITRFYU щорічно видаються

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 склалися в метрах з п'ятизначних цифр, були додатні, а величини абсцис були в два рази більші від ординат.

*Державна геодезична референцна система координат УСК-2000.* Система координат УСК-2000 встановлена за умови паралельності Гі осей просторовим осям

Міжнародної загальноземної референцної системи координат ITRS. За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 прийнятий референц-еліпсоїд Красовського.

Система координат УСК-2000 року чітко узгоджена з Міжнародною загальноземною референцною системою координат ITRS на епоху 2000 року — ITRF2000, яка закріплена пунктами космічної геодезичної мережі. УСК-2000 встановлена для виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт на території України постановою Кабінету Міністрів України "Деякі питання застосування геодезичної системи координат" від 22 вересня 2004 р. № 1259. З моменту введення системи координат УСК-2000 року при виконанні нових робіт вона замінила систему координат 1942 року, яка була введена постановою Ради Міністрів СРСР № 760 від 7 квітня 1946 року.

УСК-2000 отримана в результаті сумісного вирівнювання пунктів Української перманентної мережі спостережень глобальних навігаційних супутниково-вих систем та Державної геодезичної мережі 1-4 класів на епоху 2005 року і закріплена пунктами Державної геодезичної мережі.

УСК-2000 змодельована відповідно системи ITRS/ITRF2000 за умов:

- масштаб референцної системи дорівнює масштабу системи ITRS/ITRF2000;
- осі координат референцної системи паралельні осям координат системи ITRS/ITRF2000;
- розміщення центру референцної системи координат (суміщене з центром референц-еліпсоїда) забезпечує оптимальне відхилення поверхні референц-еліпсоїда від реальної поверхні Землі на територію України.

*Параметри системи УСК-2000.* За поверхню відліку в системі координат УСК-2000 прийнятий референц-еліпсоїд Красовського з параметрами:

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

Положення пунктів в прийнятій системі координат визначається:

- просторовими прямокутними координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (вісь  $Z$  співпадає з віссю обертання еліпсоїда, вісь  $X$  лежить в площині нульового меридіану, а вісь  $Y$  доповнює систему до правої; початком системи координат є геометричний центр еліпсоїда);
- геодезичними (еліпсоїдальними) координатами: широтою —  $B$ , довготою —  $L$ , висотою —  $H$ ;
- плоскими прямокутними координатами  $x$  та  $y$ , які обчислюються в проекції Гаусса-Крюгера;

—геодезична висота  $H$  утворюється як сума нормальної висоти та висоти квазігеоїда над еліпсоїдом Красовського [2]. Нормальні висоти геодезичних пунктів

визначаються в Балтійській системі висот 1977 року, вихідним початком якої є нуль Крондштадського футштоку, а висоти квазігеоїда обчислюються над еліпсоїдом Красовського.

**Системи координат, що використовуються в європейській та світовій практиці.** Міжнародна земна референцна система відліку (ITRF). ITRF — це загальноземна система відліку, яка задається та уточнюється Міжнародною службою обертання Землі (IERS) [3]. Вона визначається резолюцією № 2, прийнятою на двадцятій генеральній асамблеї IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics) у Відні в 1991 році. В IERS положення будь-якої точки на поверхні Землі задається таким чином:

IERS. Значення YY — це рік, дані якого були використані при реалізації системи. Наприклад, ITRF94 означає систему відліку, створену в 1995 році, для формування якої були використані дані за 1994 рік.

На даний час відомі такі реалізації системи ITRF: ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF96, ITRF97, ITRF2000. Таким чином положення точки на епоху  $t$  буде:

$$\mathbf{X}_{YY}^I(t) = \mathbf{X}_{YY}^I(t_0) + \mathbf{X}_{YY}^I(t - t_0).$$

*Європейська земна референцна система координат (ETRS89).* Підкомісія світової асоціації геодезії для Європи (EUREF), згідно своєї резолюції № 1, прийнятої на зустрічі в м. Файрензі (Firenze) в 1990 році, рекомендувала, що загальноземна система відліку координат, яка буде прийнята EUREF, буде співпадати з системою ITRS на епоху 1989.0 та буде зафіксована на стабільній частині Євразійської плити. Ця система отримала назву Європейська земна референцна система відліку координат 89 (ETRS89).

Система ETRS89 реалізована шляхом фіксування системи ITRS за параметрами масштабу, початку координат та орієнтації на епоху 1989 року. Практична реалізація системи ETRS89 здійснена через мережу станцій розташованих по всій території Європи, які закріплюють дану систему координат [3]. Нижче наведено основні параметри систем ITRF та ETRS89.

**Порівняльна таблиця параметрів систем ITRF та ETRS89**

Параметр	Значення (ITRF)	Значення (ETRS89)
Ідентифікатор системи		EU ETRS89/(Lat, Lon, h)
Зона, на яку розповсюджується система	Загальноземна	Європа/EUREF
Ідентифікатор системи відліку координат	ITRS89	ETRS89
Тип системи відліку	Геодезична	Геодезична
Епоха реалізації системи	1989	1989
Головний меридіан	Грінвіч	Грінвіч
Довгота головного меридіану	0°	0°
Еліпсоїд для системи	GRS80	GRS80
Головна півісь еліпсоїда	6 378 137 м	6 378 137 м
Форма еліпсоїда	Дійсна	Дійсна
Стиснення	1/298,257222101	1/298,257222101
Система координат еліпсоїда	Еліпсоїдальна	Еліпсоїдальна
GM	3986005 · 10 <sup>9</sup> м <sup>3</sup> с <sup>-2</sup>	3986005 · 10 <sup>9</sup> м <sup>3</sup> с <sup>-2</sup>
U <sub>2</sub>	108263 · 10 <sup>-4</sup>	108263 · 10 <sup>-4</sup>
Ω	7292115 · 10 <sup>-11</sup> с <sup>-1</sup>	7292115 · 10 <sup>-11</sup> с <sup>-1</sup>
γ <sub>e</sub>	9.7803267715 мс <sup>-2</sup>	9.7803267715 мс <sup>-2</sup>
U <sub>0</sub>	6263686,0850 10 м <sup>2</sup> с <sup>-2</sup>	6263686,0850 10 м <sup>2</sup> с <sup>-2</sup>
Розмірність системи координат еліпсоїда	3	3
Назва та напрямок координатної осі	Широта (північ)	Широта (північ)
Назва та напрямок координатної осі	Довгота (схід)	Довгота (схід)
Назва та напрямок координатної осі	Еліпсоїдальна висота (вгору)	Еліпсоїдальна висота (вгору)
Розмірність лінійних величин	Метри	Метри

**Зв'язок УСК-2000 з іншими системами координат.**

$$\overset{\mu}{X}(t) = \overset{\mu}{X}_0 + \overset{\mu}{V}_0(t - t_0) + \sum_i \overset{\mu}{\Delta X}_i(t),$$

де  $\overset{\mu}{\Delta X}_i(t)$  — поправки за різні темпоральні ефекти,  $\overset{\mu}{X}_0$  та  $\overset{\mu}{V}_0$  — місцеположення та швидкість на епоху  $t_0$ .

*Система координат ITRS.* Геодезична референцна система координат України з системою FFRS - ITRF2000 буде однозначно пов'язана параметрами зв'язку, що отримані в результаті моделювання параметрів геодезичної референцної системи координат України.

*Система координат ETRS89.* Геодезична референцна система координат України з системою ETRS89 пов'язана параметрами зв'язку, які видаються комісією EUREF як параметри зв'язку ITRS - ETRS89.

*Система координат СК-42.* Банк геодезичних пунктів побудований таким чином, що дозволяє зберігати координати пунктів ДГМ в системі СК-42 та в новій геодезичній референцній системі координат. Для об'єктів, координати яких отримані в СК-42 і які не занесені в банк геодезичних даних, передбачається перетворення в нову систему з використанням локальних параметрів на основі TIN-моделі з подальшим інтерполюванням на основі регулярної сітки — грид.

*Система координат СК-63.* Система координат 1963 р. не є класичною системою координат, а похідною від СК-42, і отримана відповідним алгоритмом перетворення. Різноманітні перетворення в межах системи СК-63 виконуються через систему СК-42.

Оскільки система ведення банку геодезичних даних передбачає підтримання СК-42, то й в межах її точності є можливість підтримувати СК-63.

*Місцеві системи координат.* Місцеві системи координат в основному утворені від системи координат 1942 р. Для збереження математичної основи великомасштабних планів 1:500 - 1:5 000 при введенні нової геодезичної референцної системи координат пропонуються аналогічні дії, що і при створенні нової системи координат, а саме:

—побудова каркасної геодезичної мережі на територію населеного пункту з використанням супутникових радіонавігаційних систем та з обов'язковою її прив'язкою до ДГМ в новій системі координат;

—моделювання параметрів зв'язку {ключів переходу) місцевої системи з новою геодезичною референцною системою координат України за умов оптимального збереження існуючої місцевої системи координат;

—вирівнювання міських геодезичних систем координат з використанням результатів вимірів, виконаних у минулі роки;

—каталогізація пунктів міських геодезичних мереж, введення місцевої системи координат.

**Висновки.** На даному етапі перед Україною постає складне завдання у виборі оптимального шляху перебудови національної системи відліку [1]. Складність цього завдання обумовлюється такими основними факторами:

—з однієї сторони, необхідне оперативне впровадження в геодезичне виробництво нової високоточної системи відліку, що забезпечить ефективне використання супутникових радіонавігаційних систем та європейську інтеграцію з питань геопросторового представлення інформації;

—з другої сторони, в новій структурі системи відліку повинна бути максимально врахована можливість використання існуючої Державної геодезичної мережі, на створення якої були затрачені великі фінансові і трудові ресурси країни і яка є математичною основою загальнодержавного картографування території України.

Для території України, як основну координатну систему для відображення геопросторової інформації, пропонується використати Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000, для населених пунктів рекомендується використання місцевих систем координат, які утворені від системи УСК-2000.

Література:

1. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України (Постанова Кабінету Міністрів України, №844, від 8 червня 1998 р.) Зібрання законодавства України. Серія 1. Постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України. - 1998. - №9. - с. 416.
2. Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS - 84 (Постанова КМ України №2359, від 22 грудня 1999 р.)
3. IERS Technical Note 21, IERS Conventions (1996), D. McCarthy, editor. Observatories de Paris; 1 July 1996.
4. Бугаевский Л.М. Математическая картография. - М.; Златоуст, 1998. - 400 с.
5. Бутович Ю.К., Еруков С.В., Иванов В.И., Побединская О.В. Комплексный подход к созданию местных систем координат // Инф. бкш. ГИС-Ассоциации. - 2001. - №2(29)-3(30). - С. 57-58.