

УДК 528.48

д-р техн. наук, професор Карпінський Ю.О.,  
karp@gki.com.ua, ORCID: 0000-0002-0701-1277,  
Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, м. Київ,  
д-р геог. наук, професор Нудельман В.І., tetiana.krishtop@ukr.net,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЖАВНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ РЕФЕРЕНЦНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ УСК-2000 У СЕРЕДОВИЩІ ARCGIS ESRI

*Викладено результати досліджень і розробок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 у середовищі ArcGIS ESRI, виконаних у Науково-дослідному інституті геодезії і картографії. Зазначається, що ці додатки в середовищі геоінформаційної системи ArcGIS дозволяють значно автоматизувати процес оброблення даних та забезпечують ефективне використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 і включають: файл опису системи координат УСК-2000 засобами ArcGIS в форматі .prj; трансформаційне поле в форматі NTV-2 для забезпечення трансформування координат з системи координат СК-42/СК-63 в систему координат УСК-2000 та ; трансформаційне поле та функції перерахунку нормальних висот Балтійської системи висот 1977 року у геодезичні висоти в системі координат WGS-84 в прямому та зворотному напрямках з використанням цифрової моделі квазігеоїду.*

*Ключові слова: Державна геодезична референцна система координат УСК-2000, трансформаційне поле в форматі NTV-2, модель квазігеоїду.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** 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, зокрема в середовище ArcGIS ESRI.

**Метою статті** є викладення результатів досліджень і розробок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 у середовищі ArcGIS ESRI, виконаних у Науково-дослідному інституті геодезії і картографії.

## Виклад основного матеріалу.

### Структура Державної геодезичної референцної системи координат УСК -2000

Структура Державної геодезичної референцної системи координат УСК -2000 включає: систему просторових прямокутних координат XYZ, систему геодезичних (еліпсоїдальних) координат ВЛН, систему прямокутних координат на площині в проекції Гаусса – Крюгера у 6-ти та 3-ох градусних зонах і 27 місцевих систем координат. Система просторових координат XYZ та система геодезичних (еліпсоїдальних) координат ВЛН розповсюджуються на всю територію України. Системи прямокутних координат у 6-ти та 3-ох градусних зонах в проекції Гаусса-Крюгера з відповідними стандартними осьовими меридіанами також охоплюють всю територію України. Якщо 6-ти градусні зони в проекції Гаусса-Крюгера використовуються для забезпечення топографічного картографування в масштабі 1:10 000 та дрібніше, то 3-х градусні зони використовуються для забезпечення великомасштабного топографічного знімання. Для забезпечення великомасштабного топографічного та кадастрового знімання також використовуються місцеві системи координат. UML – діаграма структури Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 подана на рисунку 1.



Рис. 1. UML – діаграма структури системи координат УСК-2000

Треба звернути увагу, що перелічені система просторових координат XYZ, система геодезичних (еліпсоїдальних) координат ВЛН та система прямокутних координат на площині Гаусса-Крюгера знаходяться 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.

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 перевірівнювання 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.

При впровадженні системи координат УСК-2000, здійснено перехід від використання 1146 існуючих місцевих систем координат до 27 регіональних місцевих систем координат. Моделювання параметрів місцевих систем координат було здійснено на основі інтегрального критерію Ейрі. Інтегральний критерій Ейрі (Airey, 1911) та визначає квадрат середнього спотворення довжин, віднесений до одиниці площі:

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

де – S - площа території,  $\epsilon$  - критерій для визначення спотворень довжин. Реалізація інтегрального критерію Ейрі приводить до функціоналу:

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

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

Нові місцеві системи координат охоплюють всю територію України та зв'язані з адміністративно-територіальним устроєм України. Кожна окрема

місцева система координат розповсюджується на територію однієї адміністративно-територіальної одиниці: на Автономну Республіку Крим, Вінницьку, Волинську, Дніпропетровську, Донецьку, Житомирську, Закарпатську, Запорізьку, Івано-Франківську, Київську, Кіровоградську, Луганську Львівську Миколаївську, Одеську, Полтавську, Рівненську, Сумську, Тернопільську, Харківську, Херсонську, Хмельницьку, Черкаську, Чернівецьку, Чернігівську області та міста Київ та Севастополь.

Паспорти нових місцевих систем координат розміщено на офіційному геопорталі “Державна геодезична мережа” (<http://dgm.gki.com.ua/>).

### **Опис системи координат УСК-2000 засобами ArcGIS в форматі .prj**

НДІГК створив опис всіх підтипів системи координат УСК-2000 в термінах ArcGIS для території України в форматі .prj, а саме :

- геодезична система координат В,Л;
- 4 прямокутні системи координат x,y на площині в 6-ти градусній зоні проекції Гаусса-Крюгера: зона 4, 5, 6,7;
- 7 прямокутних систем координат x,y на площині в 3-ох градусній зоні проекції Гаусса-Крюгера з осьовими меридіанами: 21°, 24°, 27, 30°, 33°, 36°, 39°;
- 27 місцевих систем координат УСК-2000.

Всього цей файл містить опис 39 –ти систем координат, складають всі підтипи – види системи координат УСК-2000.

Крім того, для практичного використання створені описи систем координат СК-63: зони 1,2,3,4,5 та 6. Фрагмент використання опису системи координат УСК в ArcGIS наведений на рисунку 2.

Створений в НДІГК файл з описом всіх видів системи координат УСК-2000 у форматі .prj необхідно завантажити у C:\Program Files (x86)\ArcGIS\Desktop10.0\Coordinate Systems після чого всі види системи координат УСК-2000 стануть доступними для користувача.

### **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 в НДІГК було створено трансформаційне поле у вигляді TIN моделі, побудованої на пунктах Державної геодезичної мережі [2]. Перерахунок координат точок від системи координат СК-42 / СК-63 в систему координат УСК-2000 здійснюється афінним трансформуванням методу скінченних елементів [2]. Середня квадратична похибка трансформування не перевищує 10 см.

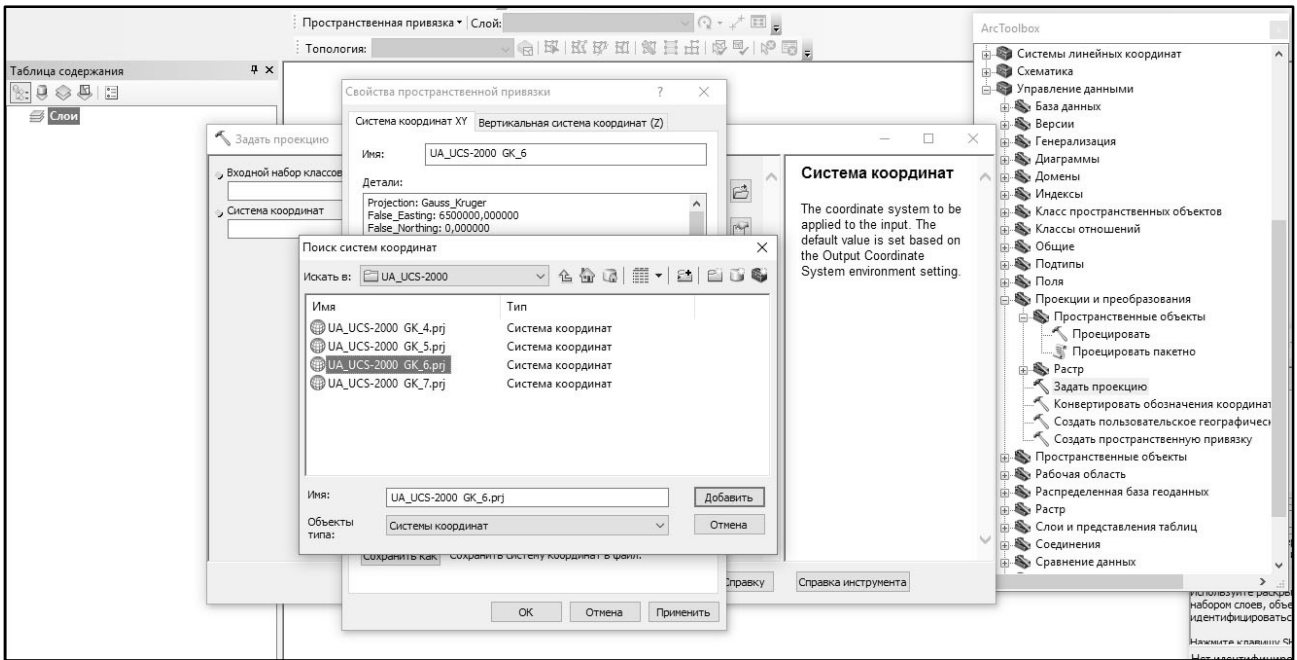


Рис. 2. Фрагмент використання опису системи координат УСК в ArcGIS

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 В, L в системі координат СК-42 до геодезичних координат В, L в системі координат УСК-2000 у вузлах регулярної сітки.

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

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\Custom Transformations.

## **Перерахунок нормальних висот Балтійської системи висот 1977 року у геодезичні висоти в системі координат WGS-84 в прямому та зворотному напрямках з використанням цифрової моделі квазігеоїду.**

Широке використання приймачів Глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) у практиці топографо-геодезичних та робіт із землеустрою вимагає побудови високоточної моделі квазігеоїду, яка забезпечує перерахунок нормальних висот над рівнем моря у Балтійській системі висот 1977 року та геодезичних (еліпсоїдальних) висот в системі координат WGS-84, які визначаються при вимірюваннях за допомогою приймачів ГНСС.

Для забезпечення цього перерахунку висот НДІГК розробив цифрову модель квазігеоїду на територію України та програмний модуль в середовищі ArcGIS.

Цифрова модель квазігеоїду створена у вигляді сітки GRID у форматі .tif. Для побудови моделі квазігеоїду використаний метод середньої квадратичної колокації та Європейський гравіметричний квазігеоїд EGG2008, який пропонується світовою геодезичною спільнотою.

Для автоматизації процесу перерахунку розроблено програмний модуль в Model Builder.

Для роботи потрібно помістити GRID-сітку - model\_kvaz\_hnorm\_hgeod в робочу папку. Grid - сітка в форматі .tif для розрахунку поправок у висоти для переходу від нормальних висот до геодезичних в системі координат WGS-84 і навпаки.

В програмному модулі реалізовані такі функції:

$H_{norm} \rightarrow H_{WGS}$  – для перерахунку висот нормальних в геодезичні WGS84.

$H_{WGS} \rightarrow H_{norm}$  – для перерахунку висот геодезичних WGS84 в нормальні.

Модель функції  $H_{norm} \rightarrow H_{WGS}$  показана на рис 2.

Визначені поправки висот з Grid – сітки поміщуються в атрибутивне поле точок і, в завершенні, за допомогою поправок отриманих “калькулятором поля”, обчислюються нормальні висоти. За допомогою Model Builder процес значно автоматизується, в результаті отримуються значення висот в окремому полі атрибутів.

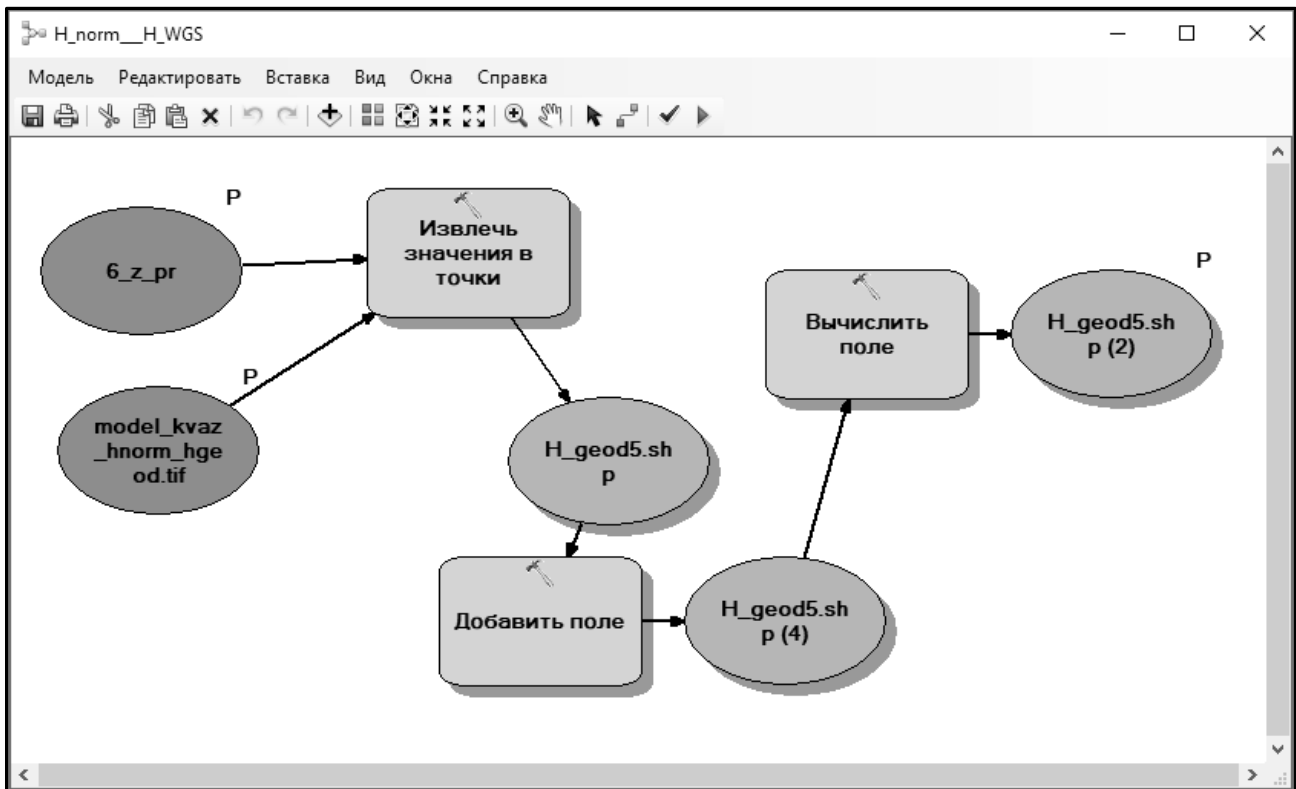


Рис.3. Модель функції H\_norm\_H\_WGS

### Висновок.

Розроблені в Науково-дослідному інституті геодезії 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;
- трансформаційне поле та функції перерахунку нормальних висот Балтійської системи висот 1977 року у геодезичні висоти в системі координат WGS-84 в прямому та зворотному напрямках з використанням цифрової моделі квазігеоїду.

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.

### Література

1. Барановський В, Карпінський Ю., Кучер О., Лященко. А. Топографо-геодезичне та картографічне забезпечення ведення державного земельного кадастру. Системи координат і картографічні проекції. /За загальною редакцією Ю.Карпінського. К.:НДІГК, 2009.- 96 с.: іл.- (Сер. "Геодезія, картографія, кадастр").
2. Карпінський Ю.О. Афіне трансформування координат методом скінченних елементів. - Київ.: Вісник геодезії та картографії, 2002.- №4(27).- С. 23-27.

д.т.н., профессор Карпинский Ю.А.,  
Научно-исследовательский институт геодезии и картографии, г. Киев,  
д-р геогр. наук, профессор Нудельман В.И.,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ РЕФЕРЕНЦНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ УСК-2000 В СРЕДЕ ArcGIS ESRI

В статье изложены результаты исследований и разработок использования Государственной геодезической референцной системы координат УСК-2000 в среде ArcGIS, выполненных в Научно-исследовательском институте геодезии и картографии.

Отмечается, что приложения в среде геоинформационной системе ArGIS позволяют значительно автоматизировать процесс обработки данных обеспечивают эффективное использование Государственной геодезической референцной системы координат УСК-2000. Эти приложения включают: файл описания системы координат УСК-2000 средствами ArcGIS в формате .prj; трансформационное поле в формате NTV-2 для обеспечения трансформирования координат из систем координат СК-42/СК-63 в систему координат УСК-2000 и ;трансформационное поле и функции перерасчета нормальных высот Балтийской системы высот 1977 года в геодезические высоты в системе координат WGS-84 в прямом и обратном направлениях с использованием цифровой модели квазигеоида.

Ключевые слова: Государственная геодезическая референционная система координат УСК-2000, трансформационное поле у формате NTV-2, модель квазигеоида.



doctor of technical sciences, professor Yu. O. Karpinskyi,  
Research Institute of Geodesy and Cartography,  
doctor of geographical sciences, professor V.I. Nudelman,  
Kyiv national University of Construction and Architecture

### **USING OF THE STATE GEODETIC COORDINATE REFERENCE SYSTEM UCS-2000 IN THE ArcGIS ESRI**

The article presents the results of research and development of the use of the State geodetic coordinate reference system UCS-2000 in the ArcGIS, performed at the Research Institute of Geodesy and Cartography.

The article notes that applications in the environment of geographic information system ArGIS can significantly automate the process of data processing to ensure the effective use of the State geodetic coordinate reference system UCS-2000. These applications include: the UCS-2000 description file using ArcGIS in the .prj format; transformation field in NTV-2 format to ensure the transformation of coordinates from coordinate systems SC-42 / SC-63 to the coordinate system UCS-2000 and; transformational field and functions of recalculating normal heights of the Baltic system of heights in 1977 to geodetic heights in the coordinate system WGS-84 in the forward and backward directions using the quasigeoid digital model

Key words: State geodetic coordinate reference system UCS-2000, transformation field in the format NTV-2, model of quasigeoid.