

УДК 528.36.23

к.т.н. Кучер О.В.,  
kucher@gki.com.ua, orcid.org/0000-0002-3545-6636,  
Науково-дослідний інститут «Геодезії і картографії», м. Київ,  
к.т.н., проф. Староверов В.С.,  
STAROVEROV\_1946@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6319-0153 ,  
Кошелюк Н.І., natalia.koshelyuk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4838-2904,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## РОЗВИТОК ВИСОТНИХ РЕФЕРЕНЦІЙНИХ СИСТЕМ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ

*Розглянуто тенденції визначення висотних референційних систем, які забезпечують геоцентричні тривимірні місцеположення в єдиній системі.*

*Відзначено, що місцеположення будь-якої точки описується за допомогою координат однозначно тільки тоді, коли референційна система, з якою ці координати пов'язані, буде повністю визначеною.*

*Ключові слова: вертикальна референційна система, координатне визначення, Європейська висотна референційна система, Українська вертикальна референційна система.*

**Постановка проблеми.** На території України функціонує Балтійська система висот 1977 р., вихідним пунктом якої є нуль Кронштадтського футштока. Система не має безпосереднього зв'язку з Європейським гравіметричним квазігеоїдом чи з будь-яким іншим та не адаптована до використання методів GPS-нівелювання.

При перебудові висотної основи України, необхідно забезпечити максимальну ефективність застосування сучасних супутникових технологій та зберегти і реалізувати весь потенціал системи висотного забезпечення, створеної на основі традиційних методів геодезичних вимірювань. Також національна система висот повинна бути узгодженою з Європейською системою висот.

**Постановка завдання.** Метою статті є проведення аналізу розвитку висотних референційних систем на сучасному етапі і розроблення рекомендацій по створенню сучасної висотної референційної системи для території України.

**Виклад основного матеріалу.** Референційна система, яка встановлена і підтримується EUREF (Підкомісія всесвітньої асоціації геодезії в Європі) є геодезичною інфраструктурою для міжнаціональних проектів, які вимагають точної геодезичної прив'язки (наприклад, просторово-часове позиціонування, геодинаміка, точна навігація тощо). З 1988 р. EUREF розвиває діяльність,

пов'язану із створенням та обслуговуванням геодезичної референцної системи ETRS89 і вертикальної референцної системи EVRS. Референцна система ETRS89 забезпечує геоцентричні тривимірні місцеположення в єдиній системі для цілої Європи. EVRS виконує теж саме для висоти, пов'язаної з гравітаційним полем Землі. Вказані системи рекомендувались для прийняття Європейським Союзом, Eurocontrol та EuroGeographics і є базовими для геодезичної прив'язки у Європі [3].

Європейська вертикальна референцна система EVRS була визначена у 2000 р. У 2001 р. започатковано кооперацію з європейською підкомісією Міжнародної комісії з гравітації і геоїда для утворення нової моделі європейського квазігеїда, погодженої з ETRS89 та EVRS (замість відомої моделі EGG97) [3].

Головна ідея Європейської вертикальної референцної системи EVRS корелюється з процедурою встановлення світової висотної системи WHS – зрозумілий поділ між визначенням вертикальної референцної системи і її реалізацією та використання глобальних розв'язків зі строгими перетвореннями для європейських користувачів у прикладних задачах.

Поділ геодезичної референцної системи на дві подібні концепції: референцну систему (RS) і її реалізацію – референцну систему координат (RF), є ефективним. Якщо визначення системи містить принципи, то визначення системи координат містить числові значення координат конкретних точок. Згідно прийнятих Європейських стандартів, місцеположення будь-якої точки описується за допомогою координат однозначно тільки тоді, коли референцна система, з якою ці координати пов'язані, буде повністю визначеною. Розробка теоретичних і практичних питань побудови сучасної координатної основи знаходиться у прямій залежності від правильного представлення як концептуальних засад референцної системи так і шляхів її реалізації [1].

Дані про висоти повинні супроводжуватися інформацією, що є достатньою для їх однозначності. Така інформація складається з різновидності типів систем висот і датума. Окрема висотна референцна система визначається одним датумом та однією системою висот. На Рис. 1 приведено структурну схему висотної референцної системи. Для опису окремої висотної референцної системи існують такі її характеристики: *ідентифікатор*; *альтернативна назва*; *область дії*; *сфера використання*.

Вертикальний датум дає відношення гравітаційно пов'язаних висот з поверхнею, близькою до середнього рівня моря і відомою як геоїд/квазігеїд. Для опису датума використовують такі його характеристики: *ідентифікатор*, *альтернативна назва*, *тип*, *вихідний пункт*, *epoca реалізації*, *область дії*, *сфера*

використання. Системи висот описуються назвою, одиницями вимірювання, типом.



Рис. 1. Блок-схема будови висотної референцної системи

У Табл. 1 наведено повний опис висотної референцної системи UELN-95, створеної на основі нівелірних мереж більшості європейських країн.

Таблиця 1.

Опис висотної референцної системи UELN-95

Назва елемента системи	Запис
Ідентифікатор висотної референцної системи	UELN-95
Ідентифікатор датума	UELN-95/98
Тип датума	Вертикальний
Вихідний пункт датума	Амстердам
Область розповсюдження	Європа
Ідентифікатор системи висот	Нормальна висота
Тип системи висот	Гравітаційно по'язана
Розмір системи висот	1
Назва осі системи висот	Висота
Напрямок осі системи висот	Вгору
Ідентифікатор одиниці виміру	Метр

Європейська вертикальна референцна система реалізована як EVRF2000 через геопотенціальні числа і нормальні висоти вузлових точок Європейської нівелірної мережі UELN 95/98 відносно Нормального Амстердамського Знаку (NAP). EVRS визначається такими принципами та умовами:

1) Вертикальний датум базується на нульовому рівні такої точки фізичної поверхні Землі, в якій реальний потенціал  $W_0$  дорівнює нормальному  $U_0$  на поверхні референц-еліпсоїда GRS80:  $W_0 = U_0$ .

2) Складові частини висоти є різницями  $\Delta W_p$  між потенціалом  $W_p$  сили ваги точки  $P$  та потенціалом нульового рівня EVRS  $W_0$ . Різниця потенціалів  $-\Delta W_p$  визначається також як геопотенціальне число:  $-\Delta W_p = C_p = W_0 - W_p$ .

Нормальні висоти еквівалентні геопотенціальним числам.

3) EVRS є системою нульового припливу (zero tide system) [4].

Національна система висот повинна бути узгодженою з Європейською системою висот. Тому Українська вертикальна референцна система (УВРС) може визначатися наступними умовами:

– вертикальні дати повинні відповідати нульовому рівню, для якого потенціал гравітаційного поля Землі дорівнює нормальному потенціалу конвенційного референц-еліпсоїда  $U_0^K$ :  $W_0 = U_0^K$ ;

– висотні компоненти повинні бути різницями  $\Delta W_p$  між потенціалом  $W_p$  сили ваги та потенціалом точки  $P$  відносно нульового рівня потенціалу УВРС  $W_0$ . Різниця потенціалу  $\Delta W_p$  також визначається як геопотенціальне число  $C_p$ :  $\Delta W_p = W_0 - W_p = C_p$ ;

– УВРС є системою нульового припливу, що більше відповідає реальній формі Землі.

Для того щоб реалізувати УВРС необхідною умовою є:

– задання значення нормального потенціалу  $U_0^K$  у нуль-пункті відліку висот;

– встановлення зв'язку з пунктами нівелірної мережі;

– забезпечення незмінності цього процесу.

**Висновок.** У 2000 р. затверджено основні принципи Європейської вертикальної системи. Система представляє собою добре узгоджену геометрично-фізичну референцну систему висот, пов'язаних з гравітаційним полем Землі. Її реалізацією є Європейська вертикальна референцна система EVRF2000.

Враховуючи сучасні тенденції розвитку сучасних висотних референцних систем, доречним є запровадження в Україні такої референцної вертикальної системи, яка пов'язана з регіональним гравітаційним полем та узгоджена з Європейською системою висот.

### Література

1. Ihde J., Adam J., Gurtner W., Harsson B.G., Sacher M., Schlüter W., Wöppelmann G. The Height Solution of the European Vertical Reference Network (EUVN) // Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Astronomisch-Geodatische Arbeiten, München, Heft Nr. 61 (IAG/EUREF Publication No. 9, Ed. by J.A. Torres and H. Hornik), 2000, pp. 132-145.

2. Кучер О.В. Сучасна концепція побудови висотної референцної основи України/ О.В. Кучер, В.С. Староверов, Н.І. Кошелюк // Містобудування та територіальне планування – 2017. – Вип. 65. – С. 299-303.

3. Сайт Підкомісії всесвітньої асоціації геодезії в Європі (EUREF) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.euref.eu>.

4. Сайт Федерального агентства картографії та геодезії – Режим доступу: <https://evrs.bkg.bund.de>.

к.т.н. Кучер О.В.,  
Научно-исследовательский институт «Геодезии и картографии», г. Киев,  
к.т.н., проф. Староверов В.С., Кошелюк Н.И.,  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры

### **РАЗВИТИЕ ВЫСОТНЫХ РЕФЕРЕНЦНЫХ СИСТЕМ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ**

Рассмотрены тенденции определения высотных референчных систем, обеспечивающих геоцентрические трехмерные местоположение в единой системе.

Отмечено, что местоположение любой точки описывается с помощью координат однозначно только тогда, когда референчная система, с которой эти координаты связаны, будет полностью определена.

Ключевые слова: вертикальная референчная система, координатное определение, Европейская высотная референчная система, Украинская вертикальная референчная система.

Ph.D. Kucher O.,  
Research Institute of Geodesy and Cartography, Kyiv, Ukraine  
Ph.D., prof. Staroverov V., Koshelyuk N.  
Kiev National University of Civil Engineering and Architecture

### **DEVELOPMENT OF HEIGHT REFERENCE SYSTEMS IN MODERN TIMES**

The tendencies of determination of the height reference systems that provide geocentric three-dimensional locations in a single system have been considered.

It is noted that the location of any point can be described by coordinates uniquely only when the referential system with which these coordinates are bound will be completely determined.

Keywords: vertical reference system, coordinate definition, European vertical reference system, Ukrainian vertical reference system.