

УДК 528.2:681.518

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2025.63.93-98>

Андрій КОВАЛЬЧУК, д-р філософії (геогр.)

ORCID ID: 0000-0001-6448-4727

e-mail: kovalchuk94a@gmail.com

Військова частина А4983, Коцюбинське, Україна

Олексій ШКУТ, ст. офіцер відділу

ORCID ID: 0009-0002-4759-0100

e-mail: lshkut99@gmail.com

Військова частина А4983, Коцюбинське, Україна

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БАЛТІЙСЬКОЇ СИСТЕМИ ВИСОТ 1977 РОКУ ТА ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ВЕРТИКАЛЬНОЇ РЕФЕРЕНЦНОЇ СИСТЕМИ В КОНТЕКСТІ ІНТЕГРАЦІЇ В ЄДИНУ ЄВРОПЕЙСЬКУ ІНФРАСТРУКТУРУ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ: ВПЛИВ НА СЕКТОР БЕЗПЕКИ Й ОБОРОНИ УКРАЇНИ

Вступ. Україна готується до значної трансформації у сфері геодезичного забезпечення, плануючи з 1 січня 2026 року перейти від застарілої Балтійської системи висот 1977 року (БСВ-77) до Європейської вертикальної референцної системи (EVRS). Цей перехід є критично важливим для модернізації національної геодезичної інфраструктури, оскільки БСВ-77 не відповідає сучасним вимогам до точності геопросторових даних та обмежує міжнародну інтеграцію. Необхідність упровадження EVRS зумовлена гармонізацією з європейським законодавством (директива INSPIRE) і стандартами НАТО, що забезпечить сумісність геодезичних даних для Збройних сил України, підвищуючи їхню оперативність та ефективність.

Методи. Під час написання статті використано загальнонаукові методи аналізу, порівняння, синтезу, аналогії, системного підходу. Проведено порівняльний аналіз БСВ-77 та EVRS за ключовими параметрами, включаючи їхню фізичну сутність, визначення референцних поверхонь і методології вимірювання висот. Оцінено точність кожної системи, що є вирішальним фактором для сучасних геодезичних, картографічних та інженерно-геодезичних робіт. Особливу увагу приділено відповідності до міжнародних стандартів та інтеграції EVRS у глобальний геодезичний каркас на протязі ізольованій позиції БСВ-77. Детально проаналізовано інтеграцію систем висот у сучасні геоінформаційні системи (ГІС) і застосування моделей геоїда.

Результати дослідження підкреслюють значні переваги EVRS над БСВ-77 у точності, сумісності та відповідності до міжнародних стандартів. Перехід на EVRS дасть змогу Україні інтегруватися в єдину європейську інфраструктуру просторових даних і забезпечить повну сумісність картографічних та геопросторових даних зі стандартами НАТО, що має першочергове значення для оборонного сектору. Розглянуто також складність трансформації даних між системами та необхідність розроблення надійних алгоритмів для безшовної конверсії.

Висновки. Упровадження EVRS є не лише технічною модернізацією геодезичної інфраструктури, але й невід'ємною частиною інтеграції України в європейське та євроатлантичне співтовариство. Цей крок сприятиме створенню єдиної європейської інфраструктури просторових даних, що є ключовою стратегічною метою для України.

Ключові слова: системи висот, Балтійська система висот 1977 року, Європейська вертикальна референцна система (EVRS), просторові дані, єдина європейська інфраструктура просторових даних.

Вступ

Системи висот – це невід'ємна частина процесу визначення вертикального положення точок на фізичній поверхні Землі відносно певної референцної поверхні. Вони є критично важливими для цілого спектру завдань, у тому числі картографування та навігації.

БСВ-77 – це система абсолютних (нормальних) висот, прийнята в СРСР у 1977 році. Нуль висот БСВ-77 визначений за нулем Кронштадтського футштока – репера на узбережжі Фінської затоки в м. Кронштадт. Усі висоти геодезичних пунктів у БСВ-77 відлічуються від цього середнього рівня Балтійського моря. Історично багато країн Східного блоку прийняли цю систему для уніфікації висотних даних у межах соціалістичних держав. У результаті кронштадтський нуль став спільною висотною відліковою площиною для України, більшості пострадянських країн, а також Польщі, Чехословаччини та інших країн у XX столітті.

EVRS базується на так званих європейських нормальних ортометричних висотах (сучасна об'єднана система висот, прийнята країнами ЄС). Нульовим рівнем EVRS обрано нормальний Амстердамський рівень (Normaal Amsterdams Peil, NAP) – історичний ординарний рівень моря в Нідерландах. Усі національні висотні

мережі країн Європи інтегровані через Об'єднану європейську нівелірну мережу саме до цього спільного нуля. Таким чином, EVRS реалізує єдину висотну систему, узгоджену між державами Європи, де 0 м висоти відповідає рівню моря за шкалою Амстердамського футштока.

Базові рівні двох систем висот відрізняються. Так, Кронштадтський і Амстердамський нулі розходяться приблизно на 14–15 см. Зокрема, кронштадтський рівень приблизно на 14 см вищий за амстердамський, тобто висоти в БСВ-77 систематично відрізняються від EVRS приблизно на +0,14 м (у середньому) на користь БСВ-77. У різних частинах України різниця між висотами БСВ-77 та EVRS коливається від ~8 до 28 см, середнє ~15 см. Це розходження пов'язане з відмінностями вихідних рівнів і локальними особливостями нівелювання.

БСВ-77 базується на рівні Балтійського моря (Кронштадт), тоді як EVRS – на єдиному для Європи рівні моря (Амстердам). Різниця між нулями становить ~0,15 м, що створює систематичну розбіжність у висотах двох систем.

Метою статті є висвітлення результатів порівняльного аналізу Балтійської системи висот 1977 року та Європейської вертикальної референцної системи (EVRS) у межах максимізації сумісності просторових даних з ЄС.

Завданнями статі є порівняння визначених систем висот у контексті відповідності до стандартів НАТО та ЄС, можливостей їх інтеграції в сучасні цифрові платформи та ГІС, дослідження практичності оперативного застосування системи, що впроваджується.

Методи

Під час написання статті використовували загально-наукові методи аналізу, порівняння, синтезу, системного підходу. Метод аналізу був застосований для вивчення узгодженості систем висот, їх інтеграції у сучасні ГІС і використання моделей геоїда, а також для об'єктивного оцінювання точності кожної системи та її відповідності до міжнародних стандартів; метод порівняння – для зіставлення різних підходів до фізичної сутності, визначення референціальних поверхонь і методології вимірювання висот БСВ-77 та EVRS; метод синтезу – для формування загальних висновків і рекомендацій щодо інтеграції та трансформації даних між системами. Системний підхід використовували для комплексного розгляду проблеми переходу та інтеграції з урахуванням проблематики інтеграції систем висот у сучасне цифрове середовище, зокрема ГІС. Цей підхід дав змогу всебічно проаналізувати практичність оперативного застосування системи, що впроваджується.

Результати

БСВ-77 заснована на полігональній побудові рядів триангуляції першого класу точності. У результаті урівнювання астрономіко-геодезичної мережі далі було здійснено урівнювання опорної нівелірної мережі, яке й лягло в основу Балтійської системи висот. При цьому висоти геоїда визначалися за астрономіко-геодезичними відхиленнями висоти з використанням матеріалів місцевої гравіметричної зйомки. За десятиліття математична основа системи могла зазнати похибок через тектонічні рухи та неоднорідність гравітаційного поля. Окремі сусідні країни, що використали БСВ, мали розбіжності в кілька сантиметрів на спільних пунктах. EVRS, натомість, ґрунтується на новітніх циклах високоточних нівелірних вимірювань (мережа Unified European Levelling Network регулярно вдосконалюється) з точністю вирівнювання висот на рівні кількох міліметрів на кілометр (Habrigh, 2019). Сучасні реалізації EVRS (EVRF2000, EVRF2019 тощо) досягли узгодженості між країнами на рівні сантиметра (EUREF, 2021). Таким чином, EVRS забезпечує вищу загальну точність і однорідність висотної основи, ніж мережа БСВ-77 без оновлення.

Окремо варто зазначити складнощі в ході використання GPS/GNSS при визначенні висот. Для цього необхідно переходити від еліпсоїдних висот WGS-84 до фізичних (ортометричних або нормальних) висот через модель геоїда. У контексті БСВ-77 це потребує наявності моделі геоїда, що прив'язана до Кронштадтського нуля. Історично єдиною загальнодержавною високоточною моделлю геоїда в Україні не існувало, тому отримання висот БСВ-77 із GPS могло давати похибку десятки сантиметрів без локальних поправок. EVRS, своєю чергою, тісно пов'язана з європейською геоїдною моделлю. Зокрема, для реалізації EVRS рекомендується високоточний квазігеоїд (європейський гравіметричний геоїд, далі EGG) з прив'язкою до системи координат ETRS89. У межах підготовки переходу в Україні необхідно завершити етап створення нової моделі квазігеоїда, узгодженої з європейським геоїдом, що і стане вертикальним датумом EVRS на нашій території. Використання GNSS із EVRS дає змогу отримувати висоти з точністю кілька сантиметрів замість десятків сантиметрів у випадку застарілої системи без сучасного геоїда (Ковальчук, Лобоба, & Соколовський, 2021).

Іншим аспектом є те, що EVRS уже реалізована через поєднання GNSS-даних і нівелювання: європейська вертикальна мережа (далі EUVN) об'єднала координати ETRS89 та висоти UELN, щоб перевірити й поліпшити геоїд. Це означає, що EVRS розроблена з урахуванням GNSS із самого початку, тоді як БСВ-77 виникла задовго до ери супутникової геодезії, а інтегрувати її з GNSS можна лише через трансформації.

За точністю висотної мережі EVRS перевершує БСВ-77. Крім того, вона краще пристосована до GNSS-вимірювань. У EVRS доступні сучасні моделі геоїда, що дають змогу безпосередньо конвертувати GPS-висоти із сантиметровою точністю, тоді як для БСВ-77 сумісність із GNSS обмежена, вимагає додаткових перетворень і знижує точність.

Перехід із БСВ-77 також обумовлений дотриманням директиви INSPIRE, що зобов'язує держави-члени застосовувати єдині референціальні системи координат – ETRS89 для планових координат і EVRS для висот (European Parliament and the Council of the European Union, 2007). Це означає, що всі просторові дані, обмін якими відбувається в ЄС, мають бути в системі ETRS89/EVRS або легко перетворюватися до неї. БСВ-77 не відповідає цим вимогам: її використання потребує обов'язкової трансформації висот при обміні даними з європейськими партнерами. Натомість EVRS є офіційно визнаною системою висот ЄС, тому перехід України на EVRS усуває бар'єри для інтеграції геоіда у загально-європейські проекти. Більшість європейських країн уже або запровадили EVRS, або узгодили свої висотні відліки з Амстердамським нулем. Перехід України на EVRS, таким чином, є кроком до виконання міжнародних зобов'язань у сфері геопросторової інформації та досягнення сумісності з INSPIRE (European Parliament and the Council of the European Union, 2007).

У силах НАТО і країнах-партнерах стандартом геодезичної прив'язки є WGS 84 – всесвітня геоцентрична система координат. Це закріплено у відповідних STANAG 2211: WGS84 використовується для визначення широти, довготи й висоти в цілях навігації, позиціонування і наведення зброї. У межах WGS 84 висоти зазвичай виражаються відносно геоїда моделі гравітаційного поля Землі (далі EGM), зокрема EGM96 або оновленої EGM2008, що реалізують глобальний рівень середнього моря (NGA – Office of Geomatics, n. d.). Жодна з локальних систем типу БСВ-77 не є стандартом НАТО, але, за потреби, можливо здійснити трансформацію місцевих координат у WGS 84. EVRS у цьому контексті є ближчою до глобальних стандартів: вона геоцентрично сумісна через ETRS89 (який збігається з WGS84 у межах Європи з точністю до декількох десятків сантиметрів) і має визначений зв'язок із глобальним рівнем моря. Перевагою EVRS над БСВ-77 є простіша конверсія в WGS84 – різниця між EVRS та умовним середньоморським датумом НАТО (EGM96) відома та регулюється європейським геоїдом. Натомість для БСВ-77 доводиться виконувати двоетапну трансформацію: спершу до EVRS (або до ETRS89/EVRS), а вже потім – до WGS84, щоб урахувати і планові, і висотні зміни.

Отже, EVRS повністю відповідає вимогам ЄС (INSPIRE/ETRS89) і наближена до стандартів НАТО (WGS84), тоді як БСВ-77 не відповідає міжнародним стандартам (European Parliament and the Council of the European Union, 2007). Для обміну даними та спільних операцій з НАТО/ЄС використання EVRS значно полегшує сумісність і усуває ризики помилок, пов'язаних із трансформацією (Habrigh, 2019).

Крім того, варто зазначити важливість для ЗСУ сумісності карт і геопросторових даних із даними партнерів і загальноновизнаними системами. БСВ-77 досі використовується в топографічних картах і планах, що історично зумовлено спадком СРСР. Особовий склад навчений працювати із цією системою, а висоти орієнтирів, цілей наразі подаються саме в БСВ-77 або системі еліпсоїдальних висот WGS84 (Міністерство оборони України, 2023). Перевагою БСВ-77 є усталеність у наявних матеріалах – до 2026 року вся картографічна продукція України базується на ній. Проте в сучасних умовах ця перевага обертається недоліком: при надходженні даних від союзників (напр. аерозйомка БПЛА чи супутникові знімки з геоприв'язкою WGS84) необхідно кожного разу виконувати перерахунок висот. Це не лише витрачає час, а й створює ризик помилок в польових умовах, особливо під час бойових дій, коли рішення потрібно приймати швидко.

Висотні позначки позицій гармат і цілей необхідні для обчислення балістичних поправок (кут підвищення, дальність стрільби тощо). Різниця 0,1–0,2 м у висоті між двома системами сама по собі мало впливає на траєкторію снаряда. Однак критичною є узгодженість даних: якщо підрозділи обмінюються координатами цілей із різних систем висот і не врахують цього, то може виникнути систематична похибка. EVRS уніфікує висотні дані із сусідами України – наприклад, дані розвідки або цілевказання від партнерів з ЄС/НАТО будуть одразу зіставні з українськими, якщо обидві сторони використовують спільну висоту EVRS. БСВ-77 вимагатиме конвертації (напр. віднімання ~15 см), без якої цілевказання може бути трохи зміщене по висоті. В умовах високоточної зброї навіть сантиметри можуть мати значення для траєкторії, тому перехід на єдину систему мінімізує будь-які невідповідності у вихідних даних.

У ході проектування укріплень, мостів, переправ, ВОПів важлива висотна прив'язка до місцевості. БСВ-77 забезпечувала цю задачу десятиліттями, але інтеграція із сучасними інструментами (напр. лазерне сканування, дрони), знову ж таки, ускладнюється необхідністю трансформації. EVRS спрощує використання результатів сучасних зйомок, оскільки більшість обладнання (GNSS-приймачі, ПЗ) можуть працювати в ETRS89/EVRS-напряму. На практиці це означає швидше отримання даних і зменшення імовірності похибки.

Загалом можна зробити висновок, що EVRS підвищує практичність оперативної роботи – дані з різних джерел узгоджуються без додаткових дій, що знижує навантаження на персонал і виключає помилки. БСВ-77 вимагає постійної уваги до конверсій, що ускладнює її використання під час спільних операцій із партнерами та застосування сучасних технологій.

Окремо варто наголосити на важливості інтеграції системи висот у сучасні цифрові платформи та геоінформаційні системи. Сучасні ГІС і цифрові карти (напр. системи ситуаційної обізнаності, навігації, розвідувальні БПЛА) за замовчуванням працюють із глобальними координатами. Підтримка локальної системи висот (БСВ-77) у ПЗ часто відсутня за замовчуванням – її потрібно налаштувати вручну, вводити параметри трансформації тощо. При цьому багато популярних геоплатформ (ESRI ArcGIS, QGIS, Google Earth Engine) очікують дані у WGS84 або регіональних стандартах (ETRS89/EVRS). Для БСВ-77 необхідно підключати спеціальні геодезичні трансформаційні файли (напр. сітку зсувів висоти по території України), щоб конвертувати дані в реальному часі. Це ускладнює сумісність і може призводити до

відображення неправильних висот, якщо налаштування виконані некоректно. EVRS же широко підтримується в програмному забезпеченні. Як складник INSPIRE, вона присутня у списках координатних референціальних систем Європи (European Parliament and the Council of the European Union, 2007). Крім того, перехід на EVRS фактично означає перехід на складену систему ETRS89/EVRS, де горизонтальні координати – в ETRS89 (ідентичний WGS84 в межах похибки вимірювань), а вертикальні – в EVRS. У більшості GIS-інструментів така комбінація доступна як стандартний профіль (часто позначається як ETRS89 + EVRS або конкретна реалізація, наприклад ETRF2000, EVRF2019) (EUREF, 2021). Цифрові платформи НАТО/ЄС вже орієнтовані на ці системи, тому інтеграція даних після переходу на EVRS стане прямою і без втрат точності. Наприклад, спільна геоінформаційна система кількох країн зможе відображати рельєф на кордоні без розривів і стрибків, оскільки й у Польщі, і в Україні буде одна висотна відлікова поверхня.

Також варто зазначити, що сучасні цифрові моделі рельєфу глобального покриття – SRTM, ASTER GDEM, Copernicus DEM – зазвичай надаються відносно глобального геоїда (EGM96/2008) (NGA – Office of Geomatics, n. d.). Їхній імпорт до ГІС у системі WGS84 не викликає проблем, тоді як для використання в БСВ-77 доведеться коригувати висоти кожного пікселя моделі. При переході на EVRS виникає потреба лише в однократній корекції (врахувати різницю NAP і EGM), надалі ж нові цифрові дані легко суміщаються з наявними.

EVRS значно краще інтегрується в сучасні цифрові геоінформаційні платформи. Це спрощує обмін даними та спільну роботу з геопросторовою інформацією в коаліційному середовищі. БСВ-77, будучи нестандартною для більшості програм, ускладнює або уповільнює імпорт / експорт даних і потребує спеціальної підтримки.

Історично висотна система БСВ-77 визначалася суто нівелюванням, модель геоїда для неї не публікувалася. Фактично роль моделі геоїда виконувала сама нівелірна мережа: висоти пунктів обчислені щодо кронштадтського рівня моря. Для переходу від еліпсоїдних GPS-висот до висот БСВ-77 використовували усереднені геодезичні параметри (напр. величину відхилення геоїда від еліпсоїда для кожного регіону). Однак без єдиної високоточної моделі геоїда такі переходи мають похибки. Нині, з огляду на плани переходу, виконуються роботи *зі створення української моделі квазігеоїда*, але вже орієнтованої на EVRS та європейський геоїд. По суті, для БСВ-77 ніколи не було загальнодержавного аналога EGM чи EGG, і це одна з причин, чому система вважається застарілою. У той самий час європейська вертикальна система із самого початку передбачає використання моделі геоїда. Усі офіційні реалізації EVRS (EVRF2000, EVRF2007, EVRF2019) супроводжуються європейською моделлю квазігеоїда EGG відповідного року (EUREF, 2021). Наявність єдиної моделі геоїда є ключовою перевагою EVRS при роботі із GNSS: знаючи еліпсоїдну висоту точки і значення геоїдної висоти з моделі EGG, можна одразу отримати фізичну висоту в EVRS, як показано на рис. 1, де H – фізична висота (синім), тобто висота над геоїдом (використовується в БСВ-77, EVRS); h – еліпсоїдна висота (чорним), визначається GNSS-приймачем (напр. GPS) відносно еліпсоїда WGS84; N – висота геоїда (червоним) – різниця між геоїдом і еліпсоїдом у певній точці.

Висота над геоїдом визначається за формулою (Geodesy for the Layman, n. d.)

$$H = h - N. \quad (1)$$

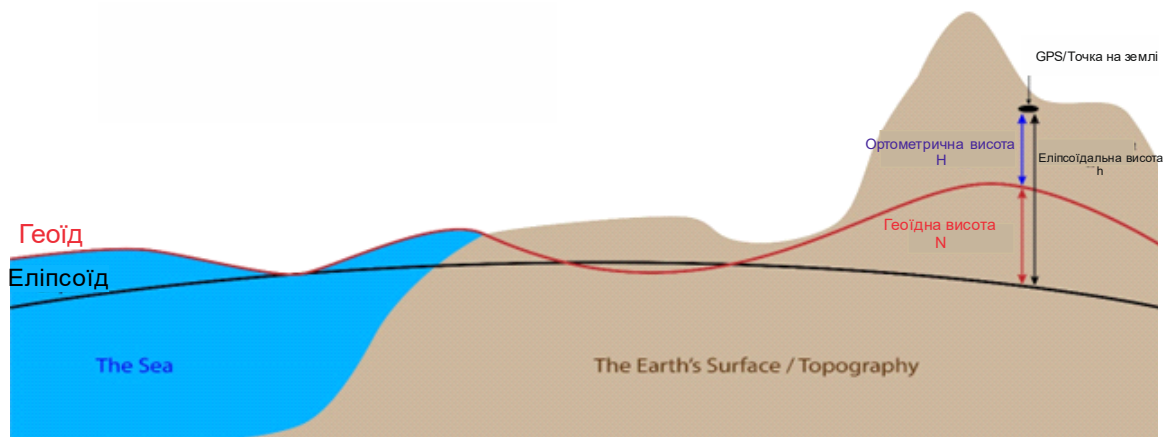


Рис. 1. Взаємозв'язок еліпсоїдальної, ортометричної та геоїдної висот

Це спрощує створення цифрових моделей рельєфу, оскільки супутникові дані легко перевести в систему координат місцевості. Так само артилерійські підрозділи, оснащені GPS, зможуть визначати свої висоти в EVRS автономно, якщо в їхньому ПЗ закладено відповідний геоїд.

Крім того, перехід на EVRS стимулював роботи зі створення регіонального геоїда для України. Модель регіонального геоїда для України, узгоджена з EGG2015, стане частиною національної інфраструктури геоданих. Це підвищить і точність висотних визначень, і однорідність даних по всій території.

На основі наведеного аналізу можна узагальнити сильні та слабкі сторони кожної системи щодо потреб геопросторової підтримки Збройних сил України.

Балтійська система висот 1977 року має низку переваг, серед яких – тривале використання як єдиного висотного стандарту на території України, відповідність усіх існуючих топографічних карт і висотних реперів, а також наявність досвіду роботи з нею у більшості фахівців. Водночас система має суттєві недоліки: її застаріла висотна прив'язка унеможливує пряму інтеграцію із сучасними глобальними та європейськими системами; вона не відповідає вимогам директиви INSPIRE, що створює складнощі при взаємодії зі структурами НАТО, вимагаючи постійного перетворення координат у систему WGS84 (European Parliament and the Council of the European Union, 2007). Крім того, БСВ-77 не має актуальної моделі геоїда, у висотній мережі можливе

накопичення помилок, а робота із GNSS-приймачами та цифровими висотними даними значно ускладнюється без застосування додаткових поправок.

Європейська вертикальна референцна система є сучасним європейським стандартом, який забезпечує сумісність із країнами-сусідами та відповідає вимогам міжнародних ініціатив, таких як INSPIRE (European Parliament and the Council of the European Union, 2007). Вона дає змогу легко здійснювати трансформацію координат у WGS84, забезпечує високу точність нівелірної мережі та має єдину модель геоїда, що значно спрощує роботу із GNSS-даними. EVRS підтримується у більшості геоінформаційних систем і програмного забезпечення, є перспективною та буде актуальною протягом тривалого часу. Її впровадження сприятиме спрощенню взаємодії із силами НАТО й обміну геопросторовими та розвідувальними даними.

Водночас запровадження EVRS вимагає певних ресурсів у перехідний період – необхідне перенавчання персоналу й оновлення підходів до створення картографічної продукції. Можливе виникнення плутанини за умови одночасного використання карт у двох системах. Незначна різниця висот у межах 0,1–0,2 м, хоч і майже непомітна, але потребує дисциплінованого врахування при точних розрахунках. Утім, з технічного погляду, EVRS практично не має суттєвих недоліків і є еволюційно вищим рівнем розвитку висотної системи для України (таб. 1).

Таблиця 1

Переваги паралельного використання WGS 84 + EVRS

№ з/п	Переваги
1	Забезпечення сумісності з картами та системами НАТО
2	Висока точність нівелірної мережі при використанні EVRS
3	Спрощення трансформацій даних за допомогою геоїдних моделей
4	Підтримка в більшості сучасних ГІС-програм
5	Перспективність та уніфікація просторових даних у європейському просторі

У процесі переходу України від застарілої Балтійської системи висот 1977 року до Європейської вертикальної референцної системи (EVRS) виникає важливе питання узгодженості вертикального й горизонтального складників геодезичних даних. Особливої актуальності це питання набуває у зв'язку з тим, що в оборонному секторі України вже впроваджено використання світової геодезичної системи WGS 84.

Згідно з наказом Міністерства оборони України від 13.03.2023 року № 132, у Збройних силах України запроваджено використання топографічних карт у системі

WGS 84 у поєднанні з картографічною проекцією Меркатора (UTM) і системою цілевказання координат MGRS. Це рішення узгоджується зі стандартами НАТО і є ключовим елементом інтеграції українського оборонного простору в євроатлантичні структури (Міністерство оборони України, 2023).

Водночас Кабінет Міністрів України прийняв рішення про державний перехід на систему EVRS. Таким чином, в Україні фактично впроваджуються дві взаємодоповняльні системи координат. Однак таке розділення не створює суперечностей, а відповідає сучасній міжнародній практиці,

де для горизонтального позиціонування широко застосовується WGS 84, а для точної висотної інформації – EVRS (або її реалізації, напр. EVRF2007 чи EVRF2019). Перехід на EVRS не виключає, а доповнює систему WGS 84. У військовому й оперативному контексті зберігається використання WGS 84, тоді як EVRS забезпечує надійне висотне підґрунтя для інженерних, будівельних і кадастрових завдань. Такий підхід відповідає найкращим міжнародним практикам і є технічно обґрунтованим.

Дискусія і висновки

Перехід з однієї системи висот в іншу завжди супроводжується необхідністю оновлення величезного обсягу даних – топографічних карт, ЦМР, баз геодезичних пунктів, GIS-проектів. Для БСВ-77 та EVRS різниця відома й має майже лінійний характер (ті самі ~15 см). Уже створено офіційні трансформаційні моделі: зокрема EPSG-трансформація 9902 для України (БСВ → EVRF2019). Це означає, що переведення висот може бути автоматизоване з точністю ~3–4 см за допомогою GIS-інструментів. На практиці зміна на 0,1–0,2 м майже непомітна для більшості топокарт середнього масштабу – вона менша за половину висоти умовного перерізу на картах 1 : 50000 (переріз 10 м). Проте для великих масштабів і топографічних планів такі виправлення необхідні. Трансформація торкнеться і цифрових висотних моделей: кожен піксель цифрової моделі висот має отримати поправку. Однак і тут, за рахунок простоти зсуву, це завдання реалізоване програмно (напр. додавання константи або застосування grid-файлу до растру висот).

Однією з проблем є наявність значного фонду паперових карт і застарілих цифрових даних у БСВ-77, що продовжать використовуватися певний час. У перехідний період топографічна служба буде працювати з обома системами. Важливо забезпечити зрозумілу схему конверсії: наприклад, інструкції "висоти БСВ-77 перевести в EVRS, додаючи 15 см" з уточненням для різних регіонів. Деякі країни при переході друкували на картах таблички або наносили поправні графіки. Уже зараз визначено, що до 2026 року здійснюються всі підготовчі роботи – включення в UELN, обчислення нових висот реперів, підготовка стандартів обміну. А отже, до моменту офіційного запуску EVRS усі необхідні довідкові матеріали будуть готові.

Загалом трансформація з БСВ-77 до EVRS вважається відносно простою (з огляду на стабільний зсув ~0,15 м), але масштаб даних вимагає планування. Оновлення електронних баз пройде легше (скрипти, програми конвертації), тоді як паперові карти старого зразка поступово вилучатимуться з обігу. У військах важливо чітко позначати систему висот на документах, щоб уникнути плутанини в перехідний період. Перехід на EVRS потребує одноразового оновлення великого масиву даних, але наявні інструменти й моделі дають змогу виконати це з високою точністю. Простота різниці між системами (близько 15 см) сприяє надійній трансформації. При організації процесу переходу ключовим завданням є забезпечення безперервності та збереження точності геопросторових даних.

З огляду на викладене, перехід України на Європейську вертикальну референцну систему (EVRS) є обґрунтованим і доцільним кроком в умовах сучасної оборонної доктрини. EVRS забезпечує інтеграцію в єдиний геопросторовий простір із країнами НАТО та ЄС, усуває розрив у стандартах і підвищує точність геоінформаційного забезпечення військ. Вона спрощує використання GNSS-технологій, цифрових карт і моделей рельєфу, а також обмін даними розвідки та цілевказання з партнерами.

БСВ-77 виконала свою історичну роль, проте зараз її обмеження перевищують переваги – залежність від застарілого датуму й несумісність фз новітніми системами ставлять під ризик ефективність і точність заходів геопросторової підтримки.

У сучасних умовах, коли Україна поглиблює співпрацю з НАТО і прагне досягти взаємосумісності сил, використання EVRS у геопросторовому забезпеченні слід вважати доцільним. Уже прийнята урядова постанова визначила конкретні терміни цього переходу. Рекомендується прискорити підготовчі заходи – створення національного геоїда, перепідготовку фахівців, оновлення програмного забезпечення, щоб до моменту введення EVRS у дію всі підрозділи були готові працювати в новій системі. БСВ-77 у перехідний період варто підтримувати лише для архівних даних і старих карт, надалі ж єдина вертикальна система EVRS стане стандартом для топографічної служби та інших напрямів оборони України. Це підвищить сумісність, точність і оперативність геопросторової підтримки в сучасній війні.

Балтійська система висот 1977 року віджила свій вік і не відповідає вимогам сьогодення. Європейська вертикальна референсна система надає Україні інструмент злагодження висот із союзниками, що є важливим для успішного ведення бойових дій і розвитку оборонного потенціалу.

Внесок авторів. Андрій Ковальчук – концептуалізація і методологія, написання – перегляд і редагування; Олексій Шкут – збирання вихідних даних і аналіз джерел, написання – оригінальна чернетка.

Джерела фінансування. Це дослідження не отримало жодного гранту від фінансової установи в державному, комерційному або некомерційному секторах.

Список використаних джерел

- Ковальчук, Я. І., Лобода, О. В., & Соколовський, В. В. (2021). Про модернізацію української висотної системи. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, 1(93), 27–30. <https://science.lpnu.ua/uk/istcgcap/vsi-vypusky/volume-93-2021/pro-modernizaciyu-ukrayinskoyi-vysotnoyi-sistemy>
- Міністерство оборони України. (2023). *Про використання у системі Міністерства оборони України топографічних карт у світовій геодезичній системі WGS-84, картографічній проєкції Меркатора (UTM)*. Наказ від 13 березня 2023 року № 132. <https://sprotyvg7.com.ua/lesson/sistema-koordinat-mgrs-ta-utm>
- EUREF. (2021). *EVRF2019: The new realization of the European Vertical Reference System*. European Reference Frame Sub-Commission. <https://www.euref.eu>
- Geodesy for the Layman. (n. d.). *Table of contents*. https://geodesy.noaa.gov/PUBS_LIB/Geodesy4Layman/toc.htm
- Habrich, H. (2019). *European Vertical Reference System (EVRS) and the EVRF realizations*. European Geosciences Union General Assembly 2019 (EGU2019). https://presentations.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-1811_presentation.pdf
- NGA – Office of Geomatics. (n. d.). *Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)*. <https://earth-info.nga.mil/>
- European Parliament and the Council of the European Union (2007, March 14). Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0002>

References

- EUREF. (2021). *EVRF2019: The new realization of the European Vertical Reference System*. European Reference Frame Sub-Commission. <https://www.euref.eu>
- Geodesy for the Layman. (n. d.). *Table of contents*. https://geodesy.noaa.gov/PUBS_LIB/Geodesy4Layman/toc.htm
- Habrich, H. (2019). *European Vertical Reference System (EVRS) and the EVRF realizations*. European Geosciences Union General Assembly 2019 (EGU2019). https://presentations.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-1811_presentation.pdf
- Kovalchuk, Ya. I., Loboda, O. V., & Sokolovskiy, V. V. (2021). On the modernization of the Ukrainian height system. *Modern Achievements of Geodetic Science and Production*, 1(93), 27–30 [in Ukrainian]. <https://science.lpnu.ua/uk/istcgcap/vsi-vypusky/volume-93-2021/pro-modernizaciyu-ukrayinskoyi-vysotnoyi-sistemy>

Ministry of Defense of Ukraine. (2023). *On the use of topographic maps in the World Geodetic System WGS-84, Mercator (UTM) projection in the system of the Ministry of Defense of Ukraine*. Order of March 13 2023 No. 132 [in Ukrainian].

NGA – Office of Geomatics. (n.d.). *Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)*. <https://earth-info.nga.mil/>

European Parliament and the Council of the European Union (2007, March 14). Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of

14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32007L0002>

Отримано редакцією журналу / Received: 30.07.25

Прорецензовано / Revised: 08.08.25

Схвалено до друку / Accepted: 11.08.25

Andrii KOVALCHUK, PhD (Geogr.)

ORCID ID: 0000-0001-6448-4727

e-mail: kovalchuk94a@gmail.com

Military Unit A4983, Kotsiubynske, Ukraine

Oleksii SHKUT, Senior Officer

ORCID ID: 0009-0002-4759-0100

e-mail: lshkut99@gmail.com

Military Unit A4983, Kotsiubynske, Ukraine

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE 1977 BALTIC SEA LEVEL SYSTEM AND THE EUROPEAN VERTICAL REFERENCE SYSTEM WITHIN THE FRAMEWORK OF TRANSITION TO A UNIFIED EUROPEAN SPATIAL DATA INFRASTRUCTURE

Background. Ukraine is preparing for a significant transformation in geodesic support, planning to transition from the outdated Baltic Height System 1977 (BSV-77) to the European Vertical Reference System (EVRS) starting on January 1, 2026. This transition is critically important for modernizing the national geodesic infrastructure, as BSV-77 does not meet contemporary requirements for geospatial data accuracy and limits international integration. The need to implement EVRS is driven by the harmonization of Ukrainian legislation with European standards (INSPIRE Directive) and NATO requirements, which will ensure the compatibility of geodesic data for the Armed Forces of Ukraine, enhancing their operational capability and effectiveness.

Methods. General scientific methods, including analysis, comparison, synthesis, analogy, and a systemic approach, were utilized in the preparation of this article. A comparative analysis of BSV-77 and EVRS was conducted based on key parameters, including their physical essence, definition of reference surfaces, and methodologies for height measurement. The accuracy of each system, a crucial factor for modern geodetic, cartographic, and engineering-geodetic works, was evaluated. Special attention was given to compliance with international standards, highlighting the integration of EVRS into the global geodetic framework in contrast to the isolated position of BSV-77. The integration of height systems into modern GIS and the application of geoid models were also thoroughly analyzed.

Results. The research highlights the significant advantages of EVRS over BSV-77 in terms of accuracy, compatibility, and compliance with international standards. The transition to EVRS will enable Ukraine to integrate into a unified European spatial data infrastructure and ensure full compatibility of cartographic and geospatial data with NATO standards, which is of paramount importance for the defense sector. The complexity of data transformation between systems and the necessity of developing reliable algorithms for seamless conversion were also considered.

Conclusions. The implementation of EVRS is not merely a technical modernization of the geodetic infrastructure but an integral part of Ukraine's integration into the European and Euro-Atlantic community. This step will significantly enhance the nation's defense capabilities through improved geospatial support and contribute to the creation of a unified European spatial data infrastructure, a key strategic goal for Ukraine.

Keywords: height systems, Baltic Sea Level System of 1977, European Vertical Reference System (EVRS), spatial data, unified European spatial data infrastructure.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.