DOI: https://doi.org/10.26642/ten-2025-2(96)-231-236
УДК 622.1

М.С. Куницька, ст. викладач
В.В. Котенко, к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

Використання системи координат УСК-2000 та МСК-18 у гірничій справі

У статті розглядаються теоретичні та практичні аспекти застосування Державної геодезичної системи координат УСК-2000 та місцевої системи координат МСК-18 у гірничій промисловості України. Дослідження присвячене актуальній проблемі модернізації геодезичного забезпечення гірничих підприємств у контексті переходу від систем координат СК-42 та СК-63 до сучасних систем, інтегрованих з глобальними супутниковими навігаційними системами. Система УСК-2000 базується на геоцентричній системі відліку та референц-еліпсоїді GRS80, що забезпечує її сумісність з міжнародною системою ITRS та WGS-84. Місцева система МСК-18 дозволяє мінімізувати спотворення картографічних проєкцій та забезпечити високу точність вимірювань на локальних територіях гірничих підприємств. У статті аналізуються математичні основи систем координат, методи трансформації координат між різними системами, специфіка застосування у маркшейдерській справі. Розглядаються питання створення опорних геодезичних мереж з використанням GNSS-технологій, практичні аспекти переходу на нові системи координат, проблеми трансформації маркшейдерської документації. Наводяться практичні приклади застосування систем УСК-2000 та МСК-18 на гірничих підприємствах. Результати дослідження мають важливе практичне значення для підвищення точності геодезичного забезпечення гірничих робіт та покращення безпеки праці.

Ключові слова: *УСК-2000; МСК-18; геодезичне забезпечення; опорна мережа; система координат; GNSS-технології; референц-еліпсоїд; геодезична мережа; проєкція Гаусса – Крюгера; маркшейдерська справа.*

Актуальність теми. Гірнича промисловість України переживає період технологічної модернізації, що передбачає впровадження сучасних методів геодезичних вимірювань та цифрових технологій управління гірничим виробництвом. Застосування застарілих систем координат СК-42 та СК-63 [1] стримує цей процес, оскільки ці системи не забезпечують необхідної точності та не інтегруються з сучасним геодезичним обладнанням, зокрема супутниковими приймачами GNSS [2].

Система координат УСК-2000, базуючись на референц-еліпсоїді GRS80 та геоцентричній системі відліку, повністю відповідає вимогам європейської системи ETRS89 та забезпечує сумісність з глобальною системою WGS-84. Це створює умови для ефективної співпраці українських гірничих підприємств з міжнародними партнерами.

Безпека гірничих робіт безпосередньо залежить від точності просторового позиціонування об’єктів гірничого виробництва. Підземні гірничі виробки потребують особливо високої точності геодезичних вимірювань для запобігання аваріям, прориву води, газу або суміжних виробок. Системи координат УСК-2000 [3] та МСК-18 у поєднанні з сучасними GNSS-технологіями дозволяють досягти точності вимірювань на рівні сантиметрів, що є критично важливим для безпеки. Раціональне використання надр вимагає точного обліку запасів корисних копалин та контролю за їх видобутком. Перехід на сучасні системи координат дозволяє створити єдину цифрову модель родовища, що інтегрує геологічні, маркшейдерські та гірничотехнічні дані. Це забезпечує оптимальне планування розвитку гірничих робіт та повноту виймання корисних копалин.

Цифровізація економіки та розвиток геоінформаційних технологій створюють нові можливості для управління гірничими підприємствами. Використання систем координат УСК-2000 та МСК-18 дозволяє інтегрувати маркшейдерські дані з корпоративними ГІС, системами диспетчеризації та автоматизованого управління виробництвом. Це підвищує ефективність прийняття управлінських рішень на всіх рівнях.

Екологічний моніторинг територій гірничих підприємств потребує високоточної геодезичної основи для спостереження за деформаціями земної поверхні, зсувними процесами, осіданням територій над підземними виробками. Сучасні системи координат у поєднанні з супутниковими методами моніторингу забезпечують своєчасне виявлення небезпечних процесів.

Нормативно-правова база України у сфері геодезії та картографії зазнала суттєвих змін. Постанова Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2022 року № 1440 «Про затвердження Порядку використання державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні геодезичної та картографічної діяльності» встановлює обов’язковість використання УСК-2000 у всіх галузях економіки, враховуючи гірничу промисловість. Це створює правову основу для модернізації геодезичного забезпечення гірничих підприємств.

© М.С. Куницька, В.В. Котенко, 2025

Таким чином, дослідження особливостей застосування систем координат УСК-2000 та МСК-18 у гірничій справі є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки сприяє технологічному розвитку галузі, підвищенню безпеки гірничих робіт та ефективності використання мінеральних ресурсів України.

Метою цієї роботи є комплексне дослідження теоретичних основ та практичних аспектів застосування системи координат УСК-2000 та МСК-18 у гірничій промисловості України, а також розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо впровадження цих систем на гірничих підприємствах.

Викладення основного матеріалу. Державна геодезична система координат УСК-2000 (Українська система координат 2000) є сучасною геоцентричною системою координат, яка була запроваджена в Україні на початку XXI століття з метою заміни застарілих систем СК-42 та СК-63. Основою УСК-2000 є міжнародний земний референц-еліпсоїд GRS80 (Geodetic Reference System 1980) з такими параметрами: велика піввісь (a) = 6 378 137,0 м; геометричне стиснення (f) = 1/298,257222101; мала піввісь (b) = 6 356 752,314 м; перший ексцентриситет (e) = 0,081819191 [6].

Система УСК-2000 базується на геоцентричній системі відліку, початок якої збігається з центром мас Землі, а осі орієнтовані відповідно до міжнародної земної референцної системи ITRS (International Terrestrial Reference System). Вісь Z спрямована до умовного земного полюса, вісь X – до точки перетину нульового меридіана з екватором, вісь Y доповнює систему до правої декартової системи координат. Для практичного використання в геодезії та картографії застосовується проєкція Гаусса – Крюгера з шириною зон 6 та 3 [4]. Для кожної зони встановлюється свій осьовий меридіан, масштабний коефіцієнт на осьовому меридіані дорівнює 1,0, умовне зміщення початку координат по осі X становить 500 000 м для шестиградусних зон. Впровадження УСК-2000 забезпечує можливість використання супутникових навігаційних систем GPS, GLONASS, Galileo для визначення координат з високою точністю. Система повністю сумісна з європейською системою ETRS89 та глобальною системою WGS-84, що дозволяє інтегрувати українські геодезичні дані у міжнародні бази даних.

Місцеві системи координат створюються для забезпечення високої точності геодезичних робіт на обмежених територіях, де спотворення, властиві картографічним проєкціям, можуть перевищувати допустимі значення. МСК-18 є однією з таких систем, розроблених для території, що охоплює Житомирську область та частину суміжних регіонів України. Система МСК-18 побудована на основі тієї ж референц-системи, що й УСК-2000 (еліпсоїд GRS80), але використовує власні параметри картографічної проєкції, оптимізовані для конкретної території. Застосовується поперечна циліндрична проєкція Гаусса – Крюгера, осьовий меридіан визначається для центра зони, масштабний коефіцієнт на осьовому меридіані близький до 1,0, умовні зміщення початку координат встановлюються для виключення від'ємних значень координат. Особливістю місцевих систем координат є мінімізація лінійних спотворень на території їх застосування. Якщо в державній системі УСК-2000 при використанні шестиградусних зон лінійні спотворення можуть досягати 14 см на 100 м відстані на краях зони, то в МСК-18 ці спотворення не перевищують 2–3 см на 100 м, що є критично важливим для маркшейдерських робіт. Місцеві системи координат зберігають математичний зв'язок з державною системою УСК-2000, що дозволяє здійснювати трансформацію координат між системами з використанням відомих параметрів переходу.

Трансформація координат між різними системами є важливою задачею при переході гірничих підприємств на використання УСК-2000 та МСК-18. Розрізняють декілька типів трансформацій залежно від вихідної та цільової систем координат. Перехід від систем СК-42 або СК-63 до УСК-2000 здійснюється через просторову подібну трансформацію (7–параметричне перетворення Гельмерта), що враховує три зміщення центра системи (ΔX, ΔY, ΔZ), три кути повороту осей (ωx, ωy, ωz) та масштабний коефіцієнт (m). Параметри трансформації визначаються для кожного регіону на основі спільних пунктів, координати яких відомі в обох системах. Для території України середні значення параметрів переходу від СК-42 до УСК-2000 становлять: $\Delta X \approx +25$ м, $\Delta Y \approx -141$ м, $\Delta Z \approx -78$ м.

Оскільки УСК-2000 та МСК-18 базуються на одному референц-еліпсоїді GRS80, трансформація між ними зводиться до переходу між різними картографічними проєкціями. Це здійснюється через проміжний етап – географічні координати (широта φ, довгота λ): спочатку виконується перетворення плоских прямокутних координат УСК-2000 у географічні координати (зворотна геодезична задача), потім перетворення географічних координат у плоскі прямокутні координати МСК-18 (пряма геодезична задача). Для прямого переходу використовуються формули проєкції Гаусса – Крюгера, які містять ряди за степенями різниці довгот від осьового меридіана. Точність такої трансформації при правильних обчисленнях становить 1–2 см.

Застосування систем координат УСК-2000 та МСК-18 у гірничій справі має певні особливості, пов'язані зі специфікою маркшейдерських робіт. Згідно з наказом Міністерства економіки України № 669 від 31.03.2021 року, всі топографо-геодезичні та маркшейдерські роботи на території гірничих підприємств обов'язково виконуються у системах координат УСК-2000, а системи СК-42 та похідні підлягають перерахунку. На земній поверхні створюється опорна геодезична мережа, що складається з пунктів різних класів точності. Для відкритих гірничих робіт планова маркшейдерська опорна мережа

створюється з щільністю не менше 4 пунктів на 1 км² у забудованій частині. Пункти розташовуються на бортах кар'єрів з урахуванням перспективи розвитку гірничих робіт.

Точність маркшейдерських вимірювань у УСК-2000 досягає найвищих світових стандартів: середня квадратична похибка положення пунктів не перевищує 0,1 м відносно вихідних пунктів, а похибка взаємного положення суміжних пунктів становить ≤ 0,03 м. Для порівняння зазначимо, що застарілі системи координат забезпечували точність лише до декількох метрів. Кутові вимірювання в маркшейдерських мережах 4 класу характеризуються середньою похибкою ≤ 5″, що критично важливо для точного планування та виконання гірничих робіт. Головна опорна мережа прив'язується до державної геодезичної мережі України через супутникові виміри методом RTK (Real Time Kinematic) або статичним методом з постобробкою [5]. Методики вимірювань в УСК-2000 містять сучасні технології супутникових спостережень: статичну зйомку, швидку статичну зйомку та RTK-режим, що забезпечує роботу в реальному часі. Це дозволяє отримати координати вихідних пунктів у системі УСК-2000 з точністю 1–2 см.

Для детальних зйомок території гірничого підприємства створюється мережа методами полігонометрії 4 класу, 1–2 розрядів, тріангуляції або супутниковими методами. Знімальна мережа створюється з похибкою ≤ 0,8 мм на плані. Виміри виконуються електронними тахеометрами або GNSS-приймачами. Результати вимірів можуть бути отримані як у системі УСК-2000, так і в місцевій системі МСК-18, залежно від вимог проєкту. Масштаби зйомки кар'єрів стандартизовані: 1:2000 для загальної зйомки, 1:1000 для детальних ділянок та 1:500 для промислових майданчиків. Традиційні методи доповнюються геометричним і тригонометричним нівелюванням з використанням Балтійської системи висот 1977 року.

Особливістю маркшейдерських робіт є необхідність передачі координат з поверхні в підземні гірничі виробки через вертикальні або похилі стовбури шахт. Ця операція називається орієнтуванням підземної маркшейдерської мережі. Підземні маркшейдерські мережі включають орієнтирно-з'єднувальну зйомку для встановлення геометричного зв'язку між поверхневими та підземними координатними системами. Для орієнтування застосовуються різні методи: гіроскопічне орієнтування за допомогою маркшейдерських гіротеодолітів з похибкою ≤ 1″, геометричне орієнтування з використанням шахтних висків, з'єднувальна зйомка через два стовбури, опускання координат методом створів через вертикальні стовбури. Після орієнтування підземна маркшейдерська мережа створюється методами полігонометрії та тріангуляції з використанням теодолітів, електронних тахеометрів та світлодалекомірів. Усі виміри виконуються в тій же системі координат, що й на поверхні (УСК-2000 або МСК-18), що забезпечує єдність просторових даних.

Специфічними завданнями підземних маркшейдерських робіт є забезпечення проходки виробок зустрічними вибоями з допуском зустрічі ≤ 0,2 м, контроль геометричних параметрів виробок та передача координат і висотних відміток на різні горизонти. Обов'язковою вимогою стала державна метрологічна експертиза приладів та використання ліцензованого програмного забезпечення. Окрім планових координат (X, Y), у маркшейдерській справі критично важливою є висотна складова (H). Для висот використовується Балтійська система висот 1977 року (БСВ-77), яка базується на середньому рівні Балтійського моря. Передача висот з поверхні в підземні виробки здійснюється методом геометричного нівелювання через вертикальні стовбури шахт або тригонометричним нівелюванням через похилі виробки. Сучасні GNSS-приймачі дозволяють визначати геодезичні висоти відносно еліпсоїда GRS80. Для переходу до ортометричних висот у системі БСВ-77 використовуються моделі квазігеоїда, зокрема українська модель UGG2013.

Процес створення геодезичних мереж на гірничих підприємствах у системах УСК-2000 та МСК-18 включає декілька етапів. На етапі проектування визначається структура геодезичної мережі, кількість та розміщення пунктів, методи вимірювань, необхідна точність. Враховуються розміри території гірничого підприємства, рельєф місцевості, наявність підземних виробок, перспективи розвитку гірничих робіт. Пункти геодезичної мережі закладаються у вигляді бетонних монолітів з центрами, що забезпечують довгострокове збереження та можливість точного центрування геодезичних приладів. На поверхні використовуються грунтові та скельні центри, у підземних виробках – настінні знаки. Виміри на пунктах мережі виконуються сучасними геодезичними приладами: електронними тахеометрами класу точності 1–2", GNSS-приймачами геодезичного класу. Супутникові виміри виконуються статичним методом з тривалістю сесій не менше 1 години або методом RTK з використанням базових станцій.

Обробка геодезичних вимірювань виконується методом найменших квадратів з урівноваженням мережі як єдиного цілого. Використовується спеціалізоване програмне забезпечення, що підтримує роботу з системами координат УСК-2000 та МСК-18. Результатом обробки є уточнені координати всіх пунктів мережі та оцінка їх точності. Якість створеної геодезичної мережі оцінюється за такими показниками: середня квадратична похибка положення пунктів, відносна похибка між суміжними пунктами, нев'язки в геометричних фігурах. Отримані показники повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів у галузі маркшейдерської справи.

Для виконання трансформації координат та обробки геодезичних вимірювань використовується різноманітне програмне забезпечення. Спеціалізоване геодезичне програмне забезпечення містить Credo

Dat для обробки інженерно-геодезичних вимірювань, Geolab для урівноваження геодезичних мереж, MapInfo та ArcGIS для роботи з геопросторовими даними, AutoCAD Civil 3D для створення маркшейдерської документації. Програмне забезпечення для GNSS-вимірювань включає TopSURV як польове програмне забезпечення для контролерів, TopconTools для постобробки GNSS-даних, Magnet Field/Office як комплексне рішення для польових робіт та камеральної обробки, Digitals для маркшейдерських розрахунків. Програми для трансформації координат містять TransCoord для переходу між різними системами координат, CS-Map як бібліотеку координатних систем, CoordTransf як спеціалізовані геодезичні калькулятори, вбудовані модулі в ГІС-програмах. Сучасне програмне забезпечення дозволяє виконувати трансформацію великих масивів даних в автоматичному режимі, контролювати точність перетворення та виявляти можливі помилки. Обов'язковою вимогою є використання ліцензованого програмного забезпечення, що пройшло державну метрологічну експертизу.

Технологія Real Time Kinematic (RTK) [7] стала важливим інструментом сучасної маркшейдерської практики, забезпечуючи сантиметрову точність позиціонування в режимі реального часу. Технічна реалізація RTK-технологій в Україні здійснюється через використання RTK-мереж, таких як System.NET, mAgri.RTK, TNT-TPI. Для роботи в системі координат УСК-2000 використовується точка монтування TNT_2000_RTCM3 з автоматичним отриманням повідомлень RTCM 1021-1027, які містять параметри трансформації координат. Переваги RTK-технологій у гірництві включають сантиметрову точність у реальному часі (1–2 см у плані, 2–3 см по висоті), можливість роботи в складних умовах, враховуючи території відкритих гірничих робіт, незалежність від прямої видимості між пунктами, що особливо важливо на гірничих підприємствах, швидкість отримання результатів, можливість роботи одного оператора без помічника.

Великі гірничі підприємства України активно впроваджують RTK-технології. ArcelorMittal Kryvyi Rih, найбільший металургійний комбінат України з повним циклом виробництва, інвестував 8,3 млн доларів США у 2024 році на нові думпкари, обладнані GPS-системами для точного позиціонування та оптимізації транспортних операцій. Це демонструє практичне значення інтеграції координатних систем у виробничі процеси. Північний гірничо-збагачувальний комбінат, що входить до складу Метінвесту та є одним з найбільших гірничодобувних підприємств Європи з промисловими запасами 2,943 млн тонн руди, використовує УСК-2000 та RTK-технології для маркшейдерського забезпечення відкритих гірничих робіт на двох кар'єрах проєктною потужністю 48,5 млн тонн руди на рік, контролю об'ємів видобутку з точністю до 2 %, спостереження за зрушеннями і деформаціями гірничих виробок та земної поверхні.

Геодезичний моніторинг деформацій у гірничій промисловості набув нового рівня точності завдяки впровадженню УСК-2000 та сучасних GNSS-технологій [8]. Мета моніторингу враховує контроль стійкості бортів кар'єрів та відвалів, спостереження за деформаціями земної поверхні над підземними виробками, моніторинг стану гірничих споруд та обладнання, виявлення зсувних процесів на ранніх стадіях. Методи спостережень охоплюють високоточне геометричне нівелювання з похибкою $\leq 0{,}2$ мм, тахеометричні вимірювання з використанням електронних тахеометрів, GNSS-спостереження статичним методом та RTK, інклінометрію для визначення горизонтальних зміщень у свердловинах. Вимоги до точності моніторингу деформацій у УСК-2000 є надзвичайно жорсткими: висотні деформації визначаються з точністю до 0,1 мм, планові зміщення – до 1–2 мм. Періодичність спостережень варіює від щотижневих до річних залежно від стану об'єкта та категорії небезпеки. Сучасні автоматизовані системи моніторингу працюють у режимі реального часу, забезпечуючи безперервне спостереження за критичними об'єктами. Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат, що працює з 1954 року з потужністю 70 тис. тонн концентрату на рік та є найбільшим підприємством з видобутку титанових руд в Україні, використовує такі системи для контролю понад 2300 га рекультивованих земель.

Перехід гірничих підприємств на використання систем УСК-2000 та МСК-18 вимагає виконання комплексу організаційних та технічних заходів. Першим етапом є інвентаризація наявної маркшейдерської документації, планів гірничих виробок, геологічних розрізів. Визначається обсяг робіт з трансформації координат та оцінюється можливість збереження спадкоємності з історичними даними. На основі спільних пунктів, координати яких відомі в старій та новій системах, визначаються параметри трансформації для конкретного гірничого підприємства. Точність визначення параметрів критично впливає на якість перетворених даних [9]. Виконується масова трансформація координат всіх об'єктів: пунктів геодезичної мережі, точок зйомки, контурів виробок. Для кожної категорії об'єктів оцінюється точність трансформації. Маркшейдерська документація приводиться у відповідність з новими системами координат. Створюються нові зведені плани гірничих виробок, оновлюються бази даних автоматизованих маркшейдерських систем. Працівники маркшейдерських служб проходять навчання з особливостей роботи в нових системах координат, використання сучасного геодезичного обладнання та програмного забезпечення.

Житомирська область займає провідне місце в гірничодобувній промисловості України. Регіон концентрує понад 85 % усіх розвіданих запасів титану України, 58 % загальноукраїнських обсягів виробництва граніту і каменю, 90 % державних запасів лабрадориту і габро. МСК для Житомирської області має такі параметри: осьовий меридіан розташований у центрі області, східний умовний зсув

становить 300 000 м, північний умовний зсув дорівнює 0 м, масштабний коефіцієнт на осьовому меридіані становить 1,0000. Основні гірничі підприємства регіону: Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат у селищі Іршанськ, що працює з 1954 року з потужністю 70 тис. тонн концентрату на рік та спеціалізується на видобутку титанових руд на площі рекультивованих земель понад 2300 га; Коростишівський кар'єр здійснює видобуток лабрадориту, габро та сірого граніту; Токівський кар'єр спеціалізується на видобутку дрібнозернистого граніту другого ступеня радіоактивності; Головинський кар'єр на площі родовищ 101 га видобуває габро «Kometa Black», лабрадорит «Blue Volga» та «Black Sea».

Координатне забезпечення гірничих операцій у Житомирській області здійснюється згідно з вимогами наказу Міністерства економіки України № 669 від 31.03.2021, який встановлює обов'язковість виконання всіх маркшейдерських робіт у системі координат УСК-2000 або місцевих системах, пов'язаних з УСК-2000. Технічні параметри координатного забезпечення включають точність координат до 2 см при використанні УСК-2000 та RTK-технологій, масштаби планів від 1:500 для промислових майданчиків до 1:5000 для загальних планів, точність обліку запасів корисних копалин до 2 % на складах готової продукції.

Нормативні документи встановлюють обов'язкові вимоги до організації маркшейдерської служби на гірничих підприємствах: обов'язкова наявність маркшейдерської служби на всіх гірничих підприємствах, кваліфікаційні сертифікати інженерів-геодезистів, ведення маркшейдерської документації відповідно до вимог використання засобів вимірювальної техніки, що пройшли державну метрологічну експертизу, застосування ліцензованого програмного забезпечення [10]. Система УСК-2000 синхронізована з міжнародними системами координат: ITRS/ITRF2000 як Міжнародна земна референцна система на епоху 2000 року, ETRS89 як Європейська земна референцна система 1989 року, WGS-84 як Світова геодезична система координат 1984 року. Параметри трансформації між системами використовують метод Гельмерта з визначеними параметрами, що забезпечує сантиметрову точність переходу між різними системами координат. Програмне забезпечення дозволяє виконувати автоматичне перетворення координат з урахуванням всіх необхідних параметрів трансформації.

Висновки. Впровадження державної геодезичної системи координат УСК-2000 забезпечило перехід України від застарілих СК-42 та СК-63 до сучасної геоцентричної системи, сумісної з міжнародними референцними системами ITRS, ETRS89 та WGS-84. Це створило єдину координатну основу для всіх сфер геодезичної, картографічної та маркшейдерської діяльності, а також дало змогу інтегрувати українські дані у світові бази. Застосування УСК-2000 та місцевих систем координат, зокрема МСК-18 для Житомирської області, забезпечує високу точність вимірювань та мінімізацію спотворень у межах територій гірничих підприємств. Це особливо важливо для маркшейдерських робіт, де похибки визначення координат не повинні перевищувати кількох сантиметрів. Використання сучасних GNSS-технологій, RTK-мереж та автоматизованих систем моніторингу дозволяє здійснювати точний контроль деформацій земної поверхні та гірничих споруд у режимі реального часу.

Таким чином, УСК-2000 і похідні від неї місцеві системи координат стали ключовим елементом у розвитку гірничої справи та геодезичного забезпечення України. Вони не лише підвищують точність і безпеку виконання робіт, але й забезпечують відповідність міжнародним стандартам та вимогам чинних нормативно-правових документів.

References:

1. Falco, G., Pini, M. and Marucco, G. (2017), «Loose and Tight GNSS/INS Integrations: Comparison of Performance Assessed in Real Urban Scenarios», *Sensors*.
2. Thevoho, I., Periy, S. and Periy, B. (2023), «Determination of reference directions at a certified range using GNSS measurements», *Modern achievements of geodesic science and industry*.
3. Iukhno, A., Sopov, D. and Hoptsii, D. (2021), «Performance of engineering surveys as an integral part of land and cadastre works in preparation of land plots for registration in the base of the state land cadaster», *Ukrainian Journal of Applied Economics*.
4. Novikova, E., Palamar, A. and Yeropunova, I. (2020), «The change of coordinate system versus the area of parcels», *Geodesy and Cartography*, Vol. 46, pp. 26–33.
5. Kotsakis, C. and Chatzinikos, M. (2023), «Terrestrial reference frames and their internal accuracy at coordinate system level», *Journal of Geodesy*, Vol. 97.
6. Novikova, E., Palamar, A. and Lopunov, R. (2022), «The dual choice of geodetic HORIZONTAL reference systemS for Ukraine», *Geodesy and Geodynamics*.
7. Kim, H., Hyun, C., Park, H. and Cha, J. (2023), «Image Mapping Accuracy Evaluation Using UAV with Standalone, Differential (RTK), and PPP GNSS Positioning Techniques in an Abandoned Mine Site», *Sensors*.
8. Zhou, X. (2013), «Based on GPS RTK Technology in Open Pit Mine in the Measurement of the Application Research», *Advanced Materials Research*, Vol. 748, pp. 565–570.
9. Yang, R., Deng, C., Yu, K. et al. (2022), «A New Way for Cartesian Coordinate Transformation and Its Precision Evaluation», *Remote Sensing*.
10. Derzhavnyi komitet Ukrainy z promyslovoi bezpeky, okhorony pratsi ta hirnychoho nahliadu (2010), *Pravyla okhorony pratsi pid chas rozrobky rodovyshch korysnykh kopalyn vidkrytym sposobom*, Nakaz vid 18.03.2010 No. 61, zareiestrovani v Ministerstvi yustytsii Ukrainy 03.06.2010 No. 356/17651 (iz zminamy, red. vid 23.03.2018).

Куницька Марина Сергіївна – старший викладач кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

https://orcid.org/0000-0002-2649-0939.

Наукові інтереси:

- геодезія;
- маркшейдерська справа;
- фотограмметрія.

E-mail: km_kms@ztu.edu.ua.

Котенко Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

http://orcid.org/0000-0001-8764-1692.

Наукові інтереси:

- відкрита розробка родовищ корисних копалин;
- геометризація родовищ корисних копалин.

Kunytska M.S., Kotenko V.V.

Use of the USK-2000 and MSK-18 coordinate systems in mining

The article discusses the theoretical and practical aspects of the application of the USK-2000 State Geodetic Coordinate System and the MSK-18 local coordinate system in the mining industry of Ukraine. The study is devoted to the topical issue of modernizing geodetic support for mining enterprises in the context of the transition from the SK-42 and SK-63 coordinate systems to modern systems integrated with global satellite navigation systems. The USK-2000 system is based on a geocentric reference system and the GRS80 reference ellipsoid, which ensures its compatibility with the international ITRS and WGS-84 systems. The local MSC-18 system minimizes distortion of cartographic projections and ensures high measurement accuracy in local areas of mining enterprises. The article analyzes the mathematical foundations of coordinate systems, methods of coordinate transformation between different systems, and the specifics of their application in mine surveying. It considers issues related to the creation of reference geodetic networks using GNSS technologies, practical aspects of the transition to new coordinate systems, and problems of transforming mine surveying documentation. Practical examples of the application of the USK-2000 and MSC-18 systems in mining enterprises are given. The results of the study are of great practical importance for improving the accuracy of geodetic support for mining operations and improving occupational safety.

Keywords: USK-2000; MSC-18; geodetic support; reference network; coordinate system; GNSS technologies; reference ellipsoid; geodetic network; mine surveying.

Стаття надійшла до редакції 19.09.2025.