

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ СУПУТНИКОВОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ НИЗЬКИХ ШИРОТ

Валентин Боровий

д-р тех. наук, професор кафедри географії, геодезії та землеустрою,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ORCID: 0000-0002-3977-36123

E-mail: viktor.borowoy@fes.kiev.ua

Оксана Браславська

д-р пед. наук, професор кафедри географії, геодезії та землеустрою
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ORCID: 0000-0003-0852-686X

E-mail: oksana.braslavaska@udpu.edu.ua

Андрій Максютюв

канд. пед. наук, доцент кафедри географії, геодезії та землеустрою
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ORCID: 0000-0002-5486-634X

E-mail: andriy.maksyutov@udpu.edu.ua

Ольга Проценко

викладач-стажист кафедри географії, геодезії та землеустрою
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

ORCID: 0009-0008-5915-3438

E-mail: olichka_kl@ukr.net

Дане дослідження полягає у використанні на стадії проектування геодезичної мережі алгоритму оцінки точності супутникових визначень за методом трилатерації; розробки технології супутникових спостережень, що передбачає застосування трьох-чотирьох приймачів; використання проекції Меркатора під час виконання інженерно-геодезичних робіт; визначенням нормальних висот методом геометричного нівелювання, а для проектування в недоступних або важкодоступних місцях використання моделі квазігеоїду.

Дане дослідження спрямоване на теоретичне обґрунтування та створення геодезичної мережі у специфічних умовах низьких широт, що забезпечує виробництво інженерно-геодезичних робіт на території міста Янбу-2 в Саудівській Аравії.

За результатами дослідження розроблено спосіб супутникових спостережень під час створення геодезичної мережі, що полягає у проведенні статичних одночасних спостережень на трьох пунктах мережі, перенесення приймача на пункт суміжного трикутника з залишенням двох приймачів на суміжній стороні, що забезпечує точність супутникових визначень.

Ця робота відкриває перспективи для подальших досліджень та створення геодезичної мережі у специфічних умовах низьких широт, що дає можливість проведення подальших інженерно-геодезичних робіт.

Ключові слова: *супутникова геодезична мережа; пункт геодезичної мережі; супутникові спостереження; метрологічне забезпечення геодезичного виробництва, проекція Меркатора; проекція Гауса-Крюгера; використання GPRS технологій; перетворення координат; інженерно-геодезичні роботи; методом трилатерації; геометричне нівелювання.*

JUSTIFICATION OF SATELLITE GEODESIC NETWORK CREATION TECHNOLOGY FOR LOW LATITUDE CONDITIONS

Valentin Boroviy

doctor of technical sciences, professor of the department of geography, geodesy and land management, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university

ORCID: 0000-0002-3977-36123

E-mail: viktor.borowoy@fes.kiev.ua

Oksana Braslavska

doctor of pedagogical sciences, professor of the department of geography, geodesy and land management, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university

ORCID: 0000-0003-0852-686X

E-mail: oksana.braslavska@udpu.edu.ua

Andrii Maksyutov

candidate of pedagogical sciences, associate professor of the department of geography, geodesy and land management, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university

ORCID: 0000-0002-5486-634X

E-mail: andriy.maksyutov@udpu.edu.ua

Olha Protsenko

trainee teacher of the department of geography, geodesy and land management, Pavlo Tychyna Uman state pedagogical university

ORCID: 0009-0008-5915-3438

E-mail: olichka_kl@ukr.net

The research consists in the use at the stage of designing a geodetic network of the algorithm for assessing the accuracy of satellite determinations by the trilateration method; development of satellite observation technology, which involves the use of three or four GPRS receivers; use of the Mercator projection during engineering and geodetic works; determining normal heights by the method of geometric leveling, and for designing in inaccessible or hard-to-reach places, using the quasi-geoid model.

This study is aimed at the theoretical justification and creation of a geodetic network in the specific conditions of low latitudes, which ensures the production of engineering and geodetic works in the territory of the city of Yanbu-2, Saudi Arabia.

According to the results of the research, a method of satellite observations during the creation of a geodetic network was developed, which consists in conducting static simultaneous observations at three points of the network, moving the receiver to a point of an adjacent triangle, leaving two receivers on the adjacent side, which ensures the accuracy of satellite determinations.

The dependence of the accuracy of measurements using GPRS technology on the duration of static observations and the length of baselines was determined. The choice of the Mercator projection for low-latitude conditions is justified by the automation of the coordinate transformation algorithm.

The theoretical significance lies in the scientific substantiation and detection of quantitative dependences of the accuracy of measurements according to the proposed technology of satellite observations. The practical significance lies in the development and implementation of the technique of creating a geodetic network for conditions of low latitudes.

The results of the study indicate the possibility of effective use of flat projection. Mercator, in conditions of low latitudes, it is an effective application, which allows to reduce the distortion of lengths compared to the Gauss-Kruger projection and due to the automation of the modified algorithm, to quickly translate coordinates for control and assessment of accuracy from one system to another.

This work opens up prospects for further research and the creation of a geodetic network in specific conditions of low latitudes, which ensures the production of engineering and geodetic works.

Keywords: *satellite geodetic network; geodetic network point; satellite observations; metrological support of geodetic production; Mercator projection; Gauss-Kruger projection; use of GPRS technologies; coordinate transformation; engineering and geodetic works; trilateration method; geometric leveling.*

Бурхливий розвиток нових технологій вимірювань та результатів їх обробки в геодезії вимагає створення геодезичних мереж на новітній основі. Йдеться про використання технології ГНСС (глобальної навігаційної супутникової системи), яка є найбільш ефективним засобом позиціонування. Водночас при конкретній реалізації виникає ряд питань, що вимагають проведення досліджень та розробки методики вимірювань із забезпеченням необхідної точності. Особливо актуальне питання у країнах, де не створено ієрархічної структури геодезичного координатного забезпечення. У зв'язку з цим важливим моментом є вибір проекції, плоских прямокутних координат для умов низьких широт, а також обґрунтування висотної основи. Ці питання є надзвичайно актуальними для країн Близького Сходу та, зокрема, для Саудівської Аравії.

Країни Близького Сходу та Перської затоки у зв'язку з інтенсивним освоєнням нових територій та будівельним бумом вимагають створення сучасних точних геодезичних мереж [9, с. 239].

У Саудівській Аравії у західній її частині планується розвиток міста Янбу-2 (Yanbu-2). Виникає необхідність створення геодезичної основи та подальшого її згущення для вирішення різних інженерно-технічних завдань. У Саудівській Аравії тільки в останні роки почали застосовувати супутникові технології. У нормативних документах та інструкціях наводяться вимоги до точності проєктованих мереж, однак питання проєктування та технології їх створення розглянуті дуже поверхнево. У зв'язку з цим актуальним завданням є обґрунтування побудови нової геодезичної мережі із застосуванням GPRS технологій, яка повністю замінить колишню національну геодезичну мережу, створену ще у 1966 р., та забезпечить вирішення важливих інженерних завдань [3, с. 64].

Наукова новизна роботи полягає в тому, що побудова локальної геодезичної мережі в Саудівській Аравії можлива з використанням українського та зарубіжного досвіду. При цьому необхідне наукове обґрунтування її параметрів із дотриманням специфічних умов регіону, включаючи вимоги щодо точності, вибір висотної основи та плоскої проекції геодезичних координат для умов низьких широт.

Методика проведення досліджень включає: аналіз та узагальнення теоретичних та практичних результатів при обґрунтуванні актуальності теми роботи та вирішенні завдань; практичні дослідження, що включають експериментальні геодезичні супутникові вимірювання; методи математичної статистики та теорії ймовірностей, у тому числі метод найменших квадратів для обробки супутникових визначень; математичне моделювання геодезичних мереж [15, с. 166].

В Україні накопичено великий практичний досвід та підготовлено теоретичну основу для створення геодезичних мереж різних класів точності. Дослідженням питань щодо створення геодезичних мереж на основі супутникових технологій займалися вітчизняні та закордонні науковці: В. І. Бандурк [1], П. І. Баран [2], С. М. Білокриницький [3], В. І. Ващенко [4], В. О. Літинський [4], С. С. Перій [4], А. Л. Кучерявий [5], К. А. Мамонов [7], Ю. К. Неумивакін [8], М. К. Перський [8], А. Л. Островський [9], О. І. Мороз [9], В. Л. Тарнавський [9], М. П. Ранський [11], І. Д. Родичкін [12], С. В. Романчук [14], В. П. Кирилюк [14], М. В. Шемякін [14], В. А. Рябчій, В. В. Рябчій [15] та інші.

Для забезпечення різних видів інженерно-геодезичних та геологічних робіт у єдиній координатній системі створюються геодезичні мережі. Геодезична мережа – система закріплених на земній поверхні пунктів із спеціальними центрами, взаємне становище яких визначено в єдиній системі координат та висот [14, с. 296].

Геодезичні мережі поділяються:

- залежно від розмірів – на глобальні, міждержавні (регіональні), національні (у межах однієї країни) та локальні (місцеві);
- за функціональною ознакою – на мережі державної та спеціальної призначення;
- за видом одержуваної інформації – на просторові, планові, висотні, планово-висотні;

- за призначенням – на опорні геодезичні мережі, геодезичні мережі згущення, знімальні та розбивальні мережі;
- за точністю – на високоточні, точні та технічні;
- залежно від технології побудови – на супутникові мережі, радіо-інтерферометрії, триангуляції, полігонометрії, трилатерації, геодезичні засічки [7, с. 403].

Геодезичні мережі є сукупністю закріплених точок земної поверхні, положення яких визначаються у єдиній системі координат. Вони є координатною основою для виконання топографічних зйомок, планування місцевості, створення основи для будівництва, складання генеральних планів міст та селищ, розроблення технічних та гідротехнічних проектів, транспортних споруд та гірничодобувних підприємств, спостереження за деформаціями різних споруд. Також для забезпечення вивчення земельних ресурсів та землекористування, кадастру, будівництва, розвідки та освоєння природних ресурсів [11, с. 68].

Геодезична мережа за видом отриманої інформації поділяється на планову та висотну.

Відповідно до інструкцій та нормативних документів, геодезичні мережі можна створювати як традиційними (триангуляція, трилатерація та полігонометрія), так і сучасними методами із використанням супутникових технологій.

Традиційними методами побудови планової геодезичної мережі є: триангуляція, трилатерація та полігонометрія. Висотні геодезичні мережі створюються переважно методом геометричного нівелювання [10].

Завдяки розвитку нових технологій у геодезії стало можливим створення геодезичних мереж з використанням глобальної навігаційної супутникової системи.

Вибір використання методу у кожному конкретному випадку визначається необхідною точністю побудови геодезичної мережі та економічної доцільністю.

Традиційні методи створення геодезичних мереж досить давно та широко використовуються. Варто зазначити, що вони мають певні переваги та недоліки. Переваги: відносна простота та читабельність вимірів, координати визначаються у вихідній системі координат (не потрібно їх перераховувати); нормальні висоти вимірюються шляхом геометричного або тригонометричного нівелювання; можна використовувати для будь-кого рельєфу земної поверхні; наявність великої кількості розроблених методик, нормативних актів та документів для різних видів робіт [2, с. 618].

Недоліки: необхідність забезпечувати пряму видимість між пунктами; велика витрата часу та праці; висока залежність від погодних умов та впливу довкілля, особливо під час виконання високоточних вимірів. Планові та висотні координати отримують окремо.

Науково-технічна революція в галузі прикладної електроніки, і, зокрема, в галузі геодезичних вимірювальних приладів, пов'язана з появою супутникових технологій, що забезпечують значне підвищення точності позиціонування У зв'язку з цим у геодезичну практику активно впроваджуються методи супутникових вимірювань [1, с. 223].

Численні дослідження показують, що поліпшення геометрії супутників та отримання уточнених результатів може бути досягнуто за рахунок збільшення числа супутників та можливості спостережень за супутниками найбільш поширених систем GPS [8, с. 184].

Технології використання глобальної навігаційної супутникової системи знайшли широке застосування у вирішенні науково-технічних та інженерних завдань у різних галузях науки. Надзвичайно ефективно вони застосовуються в геодезії, землеустрої та кадастрі, в геології та гірничій справі. Важко уявити без їхньої участі будівництво інженерних споруд та моніторинг за деформаціями. Глобальна навігаційна супутникова система широко використовується при вирішенні широкого кола інженерно-технічних завдань, і в першу чергу при вдосконаленні та створенні геодезичних мереж.

Основні переваги супутникових технологій:

- не потрібно прямої видимості між пунктами (це істотна відмінність від традиційних наземних вимірів);
- визначення координат точок можливе у будь-який час та в будь-якому місці земної кулі;
- точність вимірювань майже не залежить від погодних умов;
- вимірювання повністю автоматизовані;
- значно підвищено точність вимірювань [6].

Цікавим є досвід застосування альтернативних систем плоских координат та основні вимоги до створення опорної мережі в низьких широтах. Наше дослідження спрямоване на теоретичне обґрунтування та створення геодезичної мережі у специфічних умовах низьких широт, що забезпечує виробництво інженерно-геодезичних робіт на території міста Янбу-2 в Саудівській Аравії.

У зв'язку з тим, що нова геодезична мережа буде побудована на території Саудівської Аравії, розташованої у зоні низьких широт Земного кулі (між 40° північною та південною широтою півкулі), дуже доцільно проаналізувати досвід побудови геодезичних мереж та застосування систем плоских координат у деяких країнах низьких широт, таких як: Ліванська Республіка, Арабська Республіка Єгипет, Єменська Республіка, Бенін. Із аналізу наявних в цих країнах геодезичних мереж можна зробити висновок, що усі ці мережі мають ряд спільних ознак побудови [4, с. 128].

Перша національна геодезична мережа Саудівської Аравії існує з 1966 року для забезпечення топографічних зйомок на всій території країни у масштабі 1:50000. Вона створювалася у вигляді замкнутих геодезичних полігонів за точністю відповідних полігонометрії 4 класу (рис. 1).



Рис. 1. Національна геодезична мережа Саудівської Аравії

Проведена у 1991 році оцінка точності національної геодезичної мережі показала, що відносна похибка довжин сторін не відповідає точності полігонометрії 4 класу (гранична похибка ходу перевищує 1/25000).

Згодом Міністерство Муніципальних та сільських справ ухвалило рішення про створення нової геодезичної мережі з високою точністю. Нова геодезична мережа (Saudi Geodetic Network – SGN) складалася з 13 геодезичних фундаментальних пунктів класу А з точністю визначення сторін 1/100000000, розташованих по одному в кожному адміністративному районі, та 600 пунктів класу В з точністю 1/10000000 (рис. 2).

Однак виявилось, що 600 пунктів класу В на всю територію країни, яка має площу 2149690 км², дуже мало і не достатньо для створення великомасштабних топографічних

планів та забезпечення інженерних та Технічні геодезичні завдання. Водночас пораховано, що не вигідно створювати єдину державну геодезичну мережу на всю територію країни, де понад дві третини її площі займають бархани, скелі та пустелі.



Рис. 2. Геодезична мережа Саудівської Аравії

У зв'язку з цим, наказом Міністерства Муніципальних та сільських справ було прийнято рішення про створення геодезичних мереж силами муніципалітетів своїх територій. При цьому вони повинні бути прив'язані до пунктів класу з використанням високоточних супутникових технологій.

У Саудівській Аравії у технічній літературі досить рідко зустрічаються документація та теоретичні роботи з розвитку геодезичних мереж, практична методика по побудові геодезичних мереж з застосуванням супутникових технологій по суті відсутня.

Відповідно до вимог нормативних документів проєктована геодезична мережа має відповідати наступним вимогам: для мереж СГС-1 першого класу, відстань між суміжними пунктами має бути (5–6 км), для територій міст та промислових майданчиків (10–20 км); для районів з інтенсивною господарською діяльністю (25–35 км) за середньої щільності мережі; для неурбанізованих районів, крім сейсмічно активних (40–50 км).

Середня квадратична помилка визначення положення пунктів СГС-1 не повинна перевищувати 1–2 см у районах із сейсмічною активністю 7 і більше балів та 2–3 см [12, с. 336].

Математична обробка геодезичних вимірювань, що виконуються при побудові та модернізації геодезичних мереж, включає польові обчислення, попередні обчислення та зрівняння мереж.

Відповідно до порядку створення геодезичної мережі необхідним етапом є її проєктування є оцінка точності. В даний час оцінка точності геодезичних мереж виконується з застосування комп'ютерних технологій. Широке застосування знайшов параметричний спосіб методу найменших квадратів. У зв'язку з цим вибір оптимального варіанта геодезичної мережі під час її проєктування провадиться шляхом математичного моделювання. Тут є суттєва різниця в методах створення: за традиційним методом (триангуляція та трилатерація) та сучасним методом на основі супутникових технологій [5, с. 456].

Що стосується способів оцінки точності геодезичних мереж, побудованих традиційними способами, результатів досить багато. Разом з тим, опису алгоритмів оцінки точності супутникових визначень практично немає і розрахунки, як правило, подаються в готовому вигляді в програмних комплексах, що постачаються разом із навігаційним обладнанням.

Нами виконано аналіз оцінки точності проектованої геодезичної мережі. При цьому було розглянуто три визначені пункти, координати яких розраховані за методом триангуляції, а також результати кінематики реального часу супутникових спостережень (RTK). Для порівняння було розглянуто три варіанти мережі: пункти спираються на один, два і три опорні (вихідні) пункти (рис. 3).

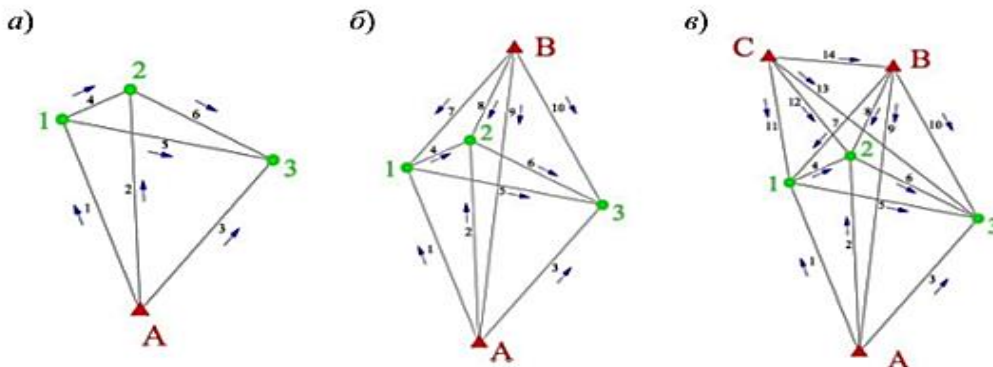


Рис. 3 Моделі побудови геодезичних мереж (а – мережа з одним опорним пунктом, б – мережа з двома опорними пунктами, в – мережа з трьома опорними пунктами)

Для оцінки точності планових координат геодезичної мережі побудованої методом триангуляції, за методом найменших квадратів обчислюємо матрицю вагових коефіцієнтів визначених пунктів:

$$Q = (A^T \cdot P \cdot A)^{-1}$$

Де A – матриця коефіцієнтів параметричних рівнянь поправок, P – матриця ваги результатів вимірювань.

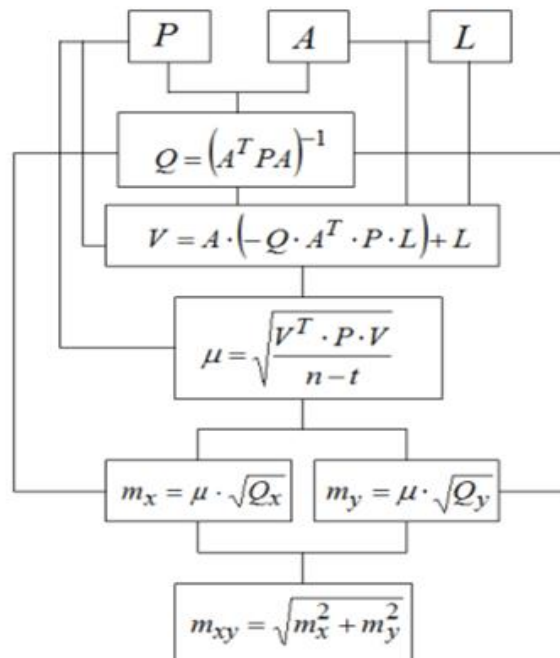


Рис. 4. Проведення оцінки точності пунктів за способом триангуляції

Елементи матриці коефіцієнтів параметричних рівнянь похибок обчислюються за формулами:

Для кутових вимірів:

$$Ax_i = \rho \cdot \frac{\sin \alpha_{ij}}{S_{ij}}; Ay_i = -\rho \cdot \frac{\cos \alpha_{ij}}{S_{ij}};$$

$$Ax_j = -\rho \cdot \frac{\sin \alpha_{ij}}{S_{ij}}; Ay_j = \rho \cdot \frac{\cos \alpha_{ij}}{S_{ij}}$$

Для лінійних вимірів:

$$Ax_i = -\cos \alpha_{ij}; Ay_i = -\sin \alpha_{ij}$$

$$Ax_j = \cos \alpha_{ij}; Ay_j = \sin \alpha_{ij}$$

Де i, j – індекси, що відповідають номерам пунктів; α_{ij} та S_{ij} – дирекційний кут та довжина лінії; ρ – кількість секунд у радіані, що дорівнює 206265.

Коефіцієнти кутових та лінійних вимірювань вагової матриці P обчислюються за формулами:

$$P_{\beta i} = \frac{\mu_0^2}{m_{\beta}^2} = 1; P_{S i} = \frac{\mu_0^2}{m_{S i}^2}$$

Отже, оцінка точності визначених пунктів геодезичних мереж щодо опорних пунктів може бути виконана за аналогією алгоритму, показаному вище. Принципово супутникові визначення відрізняються тим, що виміри виконуються за способом зворотного просторового засікання. При цьому, в кінцевому рахунку, за координатами точок визначаються довжини всіх сторін геодезичної мережі. З огляду на це можна супутникові визначення співвідносити з довжинами сторін мережі. Останні обчислюються за збільшеними вимірами з координат, тому являють собою видозмінені результати вимірів. Таким чином, можна оцінювати точність мережі. При цьому, як показано вище, моделювалася мережа, що спирається на один два і три вихідні пункти. Відмінність цього алгоритму від представленого вище (мережа триангуляції) полягає в тому, що матриця A (Конфігураційна матриця коефіцієнтів параметричних рівнянь) формується за непрямыми коефіцієнтами вимірних векторів (довжина сторін) визначених пунктів. Її коефіцієнти мають значення 0, 1 або -1 залежно від напрямів векторів (сторін) мережі [13, с. 168].

Проведений аналіз традиційних та сучасних методів побудови геодезичних мереж показує тенденцію їхнього розвитку, спрямовану на широке застосування супутникових технологій створення геодезичної координатної основи. Аналіз досвіду використання глобальної навігаційної супутникової системи при побудові геодезичних мереж у країнах низьких широт дозволяє зробити певні висновки.

Враховуючи досвід створення супутникових мереж в Україні, при її створенні Саудівській Аравії необхідно послідовно виконати роботи з її проектування, закріплення геодезичних пунктів, виконання вимірювань та остаточної математичної обробки результатів вимірів. Для умов Саудівської Аравії фактично кожна позиція пов'язана із проведенням спеціальних досліджень.

Аналіз існуючих методик створення геодезичних мереж показав необхідність вирішення питання проектування геодезичної мережі, яке включає побудову прототипу мережі на топографічних планах масштабу 1:50000 та більше, з можливістю залучення до проекту існуючих пунктів геодезичної мережі, рекогносцирувальні роботи з метою уточнення положення пунктів на місцевості, у тому числі встановлення ступеня безпеки геодезичних пунктів, закладених раніше; планування висотної основи; проведення математичного моделювання з метою перерахунку точності положення пунктів геодезичної мережі.

Для створення нової геодезичної мережі в Саудівській Аравії з застосуванням супутникових технологій позиціонування доцільно використовувати світовий досвід. Водночас практичний та теоретичний інтерес представляє вирішення питання щодо можливості зменшення кількості використаних приймачів при дотриманні вимог щодо точності. Це особливо важливо для малобюджетних організацій. Ці дослідження пов'язані з польовими дослідженнями та розробкою технології супутникових вимірів.

Важливим питанням є обґрунтування перерахунку геодезичних координат у плоскі для умов низьких широт, а також питання визначення нормальних висот пунктів геодезичної мережі. Використання проєкції Меркатора істотним чином оптимізує обсяг робіт зі створення висотної основи у поєднанні геометричним нівелюванням та супутниковими вимірами. Рішення цих питань дозволяє скласти загальну методику створення геодезичної мережі

Успішна практична реалізація розробленої методики створення геодезичної мережі для умов низьких широт стосовно району Саудівській Аравії дозволяє завершити етапи її створення та показує ефективність її використання та застосування.

Список використаних джерел

1. Бандурк В. І. Геодезія: посібник. Дніпропетровськ: НГА України, 1999. 223 с.
2. Баран П. І. Інженерна геодезія: монографія. Київ: ПАТ «Віпол», 2012. 618 с.
3. Білокриницький С. М. Топографія та геодезія: метод. посіб. Чернівці: Рута, 2001. 64 с.
4. Ващенко В. І., Літинський В. О., Перій С. С. Геодезичні прилади та приладдя: посіб. Львів: Лоно, 2003. 128 с.
5. Кучерявий А. Л. Створення геодезичних мереж з використанням сучасних методик та технологій: підручник. Львів: Світ, 2005. 456 с.
6. Геодезичні мережі України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text> (дата звернення: 20.12.2023).
7. Мамонов К. А. Територіальний розвиток використання земель регіону: напрями та особливості оцінки: монографія. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 403 с.
8. Неумивакін Ю. К., Перський М. К. Земельно-кадастрові геодезичні роботи: посібник. Київ: Колос, 2006. 184 с.
9. Островський А. Л., Мороз О. І., Тарнавський В. Л. Геодезія: навч. посіб. Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. 239 с.
10. Про затвердження інструкції з побудови геодезичних мереж: наказ Державного комітету будівництва, архітектури та житлової політики України, 24 груд. 2001 р. URL: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z0182-02> (дата звернення: 22.12.2023).
11. Ранський М. П. Геодезичні роботи в землевпорядкуванні: метод. посіб. Чернівці: Рута, 2007. 68 с.
12. Родичкін І. Д. Короткий довідник архітектора: Ландшафтна архітектура. Київ: Будівельник, 1990. 336 с.
13. Родичкін І. Д. Геодезія: посібник. Київ: Будівельник, 1998. 168 с.
14. Романчук С. В., Кирилюк В. П., Шемякін М. В. Геодезія: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 296 с.
15. Рябчій В. А., Рябчій В. В. Теорія похибок вимірювань: навч. посіб. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2006. 166 с.

References

1. Bandurk, V. I. (1999). Heodeziia. Dnipropetrovsk: NHA Ukrainy [in Ukrainian].
2. Baran, P. I. (2012). Inzhenerna heodeziia. Kyiv: PAT Vipol [in Ukrainian].
3. Bilokrynytskyi, S. M. (2001). Topohrafiia ta heodeziia. Chernivtsi: Ruta [in Ukrainian].
4. Vashchenko, V. I., Litynskyi, V. O., Perii S. S. (2003). Heodezychni prylady ta pryladdia. Lviv: Lono [in Ukrainian].
5. Kucheriavyi, A. L. (2005). Stvorennia heodezychnykh merezh z vykorystanniam suchasnykh metodyk ta tekhnolohii. Lviv: Svit [in Ukrainian].
6. Heodezychni merezhi Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text> [in Ukrainian].
7. Mamonov, K. A. (2020). Terytorialnyi rozvytok vykorystannia zemel rehionu: napriamy ta osoblyvosti otsinky. Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova [in Ukrainian].
8. Neumyvakin, Yu. K., Perskyi, M. K. (2006). Zemelno-kadastrovi heodezychni raboty. Kyiv: Kolos [in Ukrainian].
9. Ostrovskyi, A. L., Moroz, O. I., Tarnavskyi, V. L. (2008). Heodeziia. Lviv: Vyd-vo Nats. un-tu "Lvivska politekhnika" [in Ukrainian].
10. Pro zatverdzhennia instruktсии z pobudovy heodezychnykh merezh: nakaz Derzhavnoho komitetu budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrainy, 24 hrud. 2001 r. URL: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z0182-02> [in Ukrainian].
11. Ranskyi, M. P. (2007). Heodezychni roboty v zemlevporiadkuvanni. Chernivtsi: Ruta [in Ukrainian].
12. Rodychkin, I. D. (1990). Korotkyi dovidnyk arkhitektora: Landshaftna arkhitektura. Kyiv: Budivelnik [in Ukrainian].
13. Rodichkin, I. D. (1998). Heodeziia: posib. Kyiv: Budivelnik [in Ukrainian].
14. Romanchuk, S. V., Kyryliuk, V. P., Shemiakin, M. V. Heodeziia. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].
15. Riabchii, V. A., Riabchii, V. V. (2006). Teoriia pokhybok vymiriuvan. Dnipropetrovsk: Natsionalnyi hirnychyi universytet [in Ukrainian].