

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-3(13)-258-268

Сергій Крячок, Юлія Щербак, Людмила Мамонтова

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛЮСНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ НА ПРИАЕРОДРОМНІЙ ТЕРИТОРІЇ

Актуальність теми дослідження. В Україні прийнято Державну цільову програму розвитку аеропортів на період до 2023 року. Метою Програми є розвиток авіаційного транспорту, узгодження його з міжнародними вимогами та створення умов для набуття Україною статусу транзитної держави.

Постановка проблеми. До зони відповідальності аеропортів за безпеку авіаційних перевезень належить приаеродромна територія. Для аеропортів цивільної авіації необхідно мати електронні бази даних стосовно ландшафту і перешкод (висотні об'єкти) в межах аеродрому та приаеродромної території, які повинні бути координатноорієнтованими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені висвітленню геодезичних методів із визначення планових координат та відміток висотних об'єктів на приаеродромній території, серед яких виділено полюсний метод.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Полюсний метод має за своєю побудовою потенційні можливості для визначення планових координат та відміток висотних об'єктів. Крім того, визначення координат пунктів дає можливість виконувати геодезичний супровід на приаеродромній території кадастрових робіт із метою оперативного внесення змін і доповнень про межі земельних ділянок, їх координати та площу.

Мета статті. Головною метою цієї статті є обґрунтування застосування комбінованого методу з використанням GPS-спостережень та полюсної системи для визначення координат межових знаків, обчислення площ земельних ділянок, визначення координат і відміток висотних споруд на приаеродромній території.

Виклад основного матеріалу. Показано геометричну сутність відомої полюсної побудови у вигляді мережі трикутників з визначеним базисом, вершини яких сходяться в одній точці – полюсі, з вимірними у кожному трикутнику по два горизонтальних кути. Наведено теоретичну основу та алгоритм розрахунку координат пунктів. Запропоновано обчислювати планові координати полюса – точки знаходження висотної споруди і вимірювати разом із горизонтальними кутами вертикальні кути тих же напрямків. Це дає змогу обчислити відмітку верхньої точки висотної споруди. На конкретному прикладі показано застосування полюсного методу для визначення планових координат меж земельного масиву, обчислення його площі та визначення планових координат і відмітки верхи висотної споруди, розміщеної на території масиву.

Висновки відповідно до статті. Запропоновано під час геодезичного супроводу кадастрових робіт на приаеродромній території разом із визначенням координат меж земельних ділянок та площі виконувати визначення координат та відміток висотних споруд, розташованих на їхніх територіях, з використанням полюсного методу – для створення координатноорієнтованої електронної бази даних висотних перешкод у районі аеропорту.

Ключові слова: приаеродромна територія; електронна база даних про перешкоди; визначення площ; кадастрові роботи.

Рис.: 2. Табл.: 5. Бібл.: 16.

Актуальність теми дослідження. В Україні прийнято Державну цільову програму розвитку аеропортів на період до 2023 року. Метою Програми є розвиток авіаційного транспорту, приведення його до міжнародних вимог та створення умов для набуття Україною статусу транзитної держави [1].

Постановка проблеми. До зони відповідальності аеропортів за безпеку авіаційних перевезень належить прилегла до них приаеродромна територія [2]. Згідно з рекомендацією Комісії Євроконтроля [3] необхідно мати для аеропортів цивільної авіації електронні бази даних стосовно ландшафту і перешкод (висотні об'єкти) в межах аеродрому та приаеродромної території, які повинні бути координатно орієнтованими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До сучасних методів визначення координат і відміток (висот) висотних об'єктів належить лідарне аерознімання. Його перевагами перед наземними методами є можливість проведення знімання на великих територіях, представлення у цифровій формі великого обсягу інформації, значна роздільна здатність у виявленні висотних об'єктів [4]. Лідарний комплекс повітряного базування містить, як правило, такі основні компоненти; GPS-приймач, бортовий лазерний сканер, інерційну навігаційну систему, цифрову камеру, блок управління та контролю,

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

безперебійний блок живлення [5]. Зрозуміло, що таке обладнання має значну вартість, як і його програмне забезпечення, що в підсумку відбивається на значній вартості результатів лідарного аерознімання.

Значно дешевшими і такими, що знайшли значне поширення в Україні, є оптичні теодоліти, електронні тахеометри, GPS-приймачі. Для визначення планових координат висотних об'єктів у реальному часі застосовуються ГНСС-технології, складовими яких є GPS-приймачі [6-8]. Але в окремих випадках прийом сигналів від GPS-супутників може бути неякісним через рельєф, висотні споруди, у лісистій місцевості, наявності поблизу GPS-приймачів високовольтних ліній електропередач. Тому для визначення планових координат у таких випадках застосовуються комбіновані методи з використанням ГНСС-технологій та класичних наземних методів геодезії [9–10].

Найбільш розповсюдженим класичним наземним методом визначення планових координат є полігонометрія, аналогом якої є теодолітні ходи. Нині вони удосконалені використанням електронних тахеометрів, які дозволяють досить швидко та з необхідною точністю вимірювати горизонтальні та вертикальні кути, відстані між пунктами та надавати інформацію для подальшого опрацювання в електронному вигляді. Удосконалюється і методика виконання вимірювань [11–12].

Разом із прокладанням теодолітних чи полігонометричних ходів від пунктів із відомими координатами до висотних об'єктів може виконуватись і визначення відміток цих об'єктів методом тригонометричного нівелювання [13].

Планові координати пунктів можна визначити і при застосуванні полюсного методу, який містить у собі ознаки полігонометрії, триангуляції та способу засічок [14]. На відміну від полігонометрії полюсний метод, крім вимірювання горизонтальних кутів, потребує визначення довжини лише однієї лінії, що дозволяє зменшити час на проведення польових робіт із вимірювання відстаней. Цей метод ефективний в умовах важкодоступної території, де прийом сигналів від GPS-супутників неможливий.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Особливістю полюсного методу є те, що для виконання кутових вимірювань необхідно мати якийсь висотний об'єкт (хрест церкви, заводську трубу, телевізійну чи радіоантену, антену стільникового зв'язку, опору ЛЕП), що потенційно уможливує визначення координат та відмітки висотної споруди. Крім того, визначення координат пунктів дає можливість виконувати геодезичний супровід кадастрових робіт на приаеродромній території – процесу динамічного, який передбачає оперативне внесення змін і доповнень про межі земельних ділянок, їх координати та площу [15].

Мета статті. Головною метою цієї статті є застосування комбінованого методу з використанням GPS-спостережень та лінійно-кутової мережі у вигляді полюсної системи для визначення координат межових знаків, обчислення площ земельних ділянок та визначення координат і відміток висотних споруд на приаеродромній території.

Виклад основного матеріалу. Визначення площ при здійсненні земельних правовідносин несе в собі не лише теоретичну й математичну сутність, але й має практичне значення. Застосування полюсного методу для визначення площ земельних ділянок (рис. 1) використовується для фігури, обмеженої довільною замкнутою ламаною лінією [14]. Центром мережі є полюс P . У мережі вимірюють базиси a та b , а також кути $A_1, B_1, A_2, B_2, \dots, A_N, B_N$ і горизонтального кута γ між напрямками $P-N$ та $P-1$. За відомими координатами початкового пункту і дирекційним кутом одного напрямку можна визначити координати всіх пунктів у мережі. Для цього необхідно на початку за теоремою синусів обчислити довжини сторін трикутників і визначити дирекційні кути сторін ходової лінії між пунктами: $P, 1, 2, 3, \dots, N, P$ мережі. Координати точок мережі розраховують за ходовою лінією, як у замкнутому теодолітному ході, або за формулами Юнга [14].

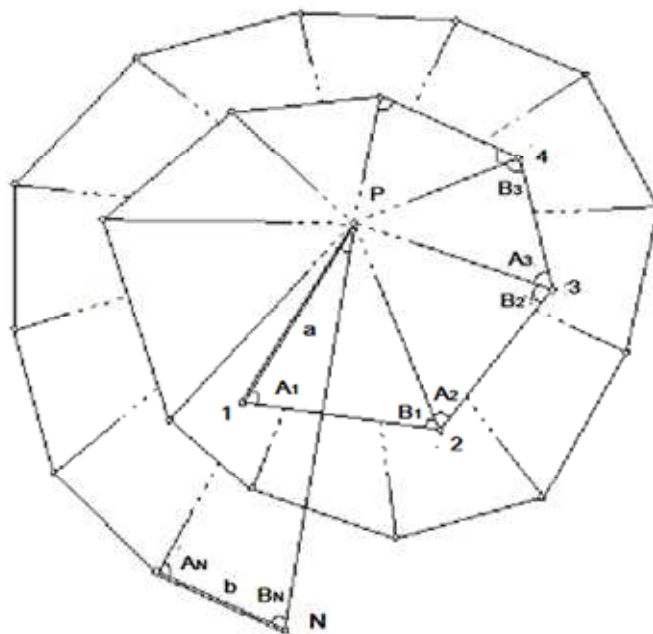


Рис. 1. Схема полюсної мережі

Для побудови планової геодезичної мережі полюсним методом необхідно на місцевості мати полюс P (хрест церкви, блискавковідвід заводської труби, телевізійна (радіо) антена, антена стільникового зв'язку, опора ЛЕП та інші висотні споруди), але відстань від точок ходової лінії до полюса не повинна бути більшою за 2 км [14]. Після цього закріплюють пункти за ходовою лінією мережі так, щоб була видимість на задню та передню точки і полюс та щоб вимірні кути не перевищували 150° та не були меншими 30° [14]. Схема полюсної мережі залежить від умов місцевості [14].

Аналіз відомих методів побудови планової геодезичної мережі дозволяє зробити такі висновки [14]:

1) перевагою полігонометрії є те, що ходи прокладають по зручному маршруту, але необхідно виконувати вимірювання всіх довжин ліній між пунктами мережі;

2) перевагою триангуляції є те, що її побудова не потребує лінійні вимірювання за винятком однієї чи кількох базисних сторін, а недолік її в тому, що в кожному трикутнику потрібно вимірювати три кути і на більшості пунктів доводиться вимірювати більше трьох напрямків.

У полюсному методі об'єднано позитивні особливості вказаних методів [14]:

1) від полігонометрії – принцип ходової лінії, що прокладається по зручному маршруту з урахуванням існуючих фізико-географічних умов;

2) від триангуляції – принцип передачі довжин сторін за ходовою лінією, користуючись теоремою синусів – без вимірювання в польових умовах;

3) від засічок – вимірювання двох кутів на кожній стороні ходової лінії.

Послідовність камеральної обробки польових результатів полюсної мережі наступна [14]:

1. Обчислюють суму вимірних кутів

$$\sum \beta_{np} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n, \quad (1)$$

де β – вимірні горизонтальні кути на пунктах ходової лінії між напрямками на полюс та наступний пункт ходової лінії.

2. Визначають суму теоретичних кутів:

а) якщо полюсна мережа має вигляд центральної системи

$$\sum \beta_m = 180^\circ (n - 2); \quad (2)$$

б) для випадку, коли ходова лінія має більше одного витка навколо полюса

$$\sum \beta_m = 360^\circ \left(\frac{n}{2} - k - 1 \right), \quad (3)$$

де n – кількість точок у полюсній мережі, включаючи полюс; k – кількість повних обертів навколо полюса.

3. Розраховують кутову нев'язку

$$f_\beta = \sum \beta_{np} - \sum \beta_m. \quad (4)$$

4. Визначають допустиму кутову нев'язку

$$\text{доп.} f_\beta = 2m_\beta \sqrt{n}, \quad (5)$$

де m_β – середня квадратична похибка вимірювання кута.

Якщо $f_\beta \leq \text{доп.} f_\beta$, то обчислюють поправку в кожний вимірний кут за формулою

$$v_\beta = -\frac{f_\beta}{n}. \quad (6)$$

Маючи виправлені кутами та відомий базис, обчислюють сторони за теоремою синусів і визначають дирекційні кути ходової лінії.

Нехай на приаеродромній території потрібно визначити координати меж, площу земельного масиву садово-городнього товариства та відмітку водонапірної башти, розташованої всередині масиву (рис. 2).

На кутах садово-городнього товариства було закладено межові знаки, позначені на плані цифрами 1, 2, 3, 4.

На пунктах 1 та 2 були виконані спостереження з використанням GPS-приймача та визначені висоти і прямокутні координати цих пунктів у системі координат УСК 2000. На пунктах 3 та 4 такі спостереження давали нестабільні результати, оскільки північна частина земельного масиву межувала з сосновим лісом із висотою дерев близько 25 м (рис. 2), що приводило до багатопроменевості сигналу від супутників GPS та створенню додаткових завад. Оскільки всередині земельного масиву розташовувалась водонапірна башта з блискавковідводом, то доцільно використати саме полюсний метод, обравши блискавковідвід за полюс, який позначено на рис. 2 цифрою 5.



Рис. 2. План садово-городнього товариства

У підсумку було утворено полюсну мережу, показану на рис. 3.

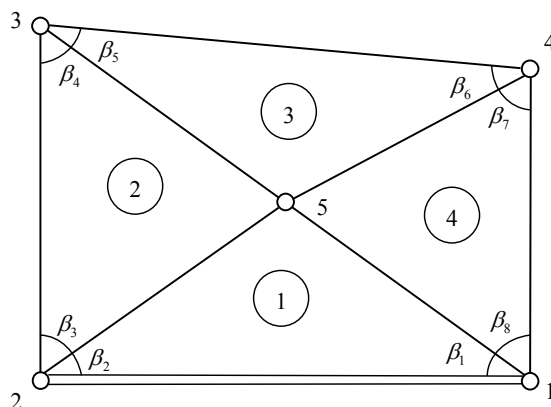


Рис. 3. Схема полюсної мережі

Довжину базису b визначено за формулою

$$b = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \quad (7)$$

а дирекційний кут напрямку 1-2 за формулою

$$\alpha_{12} = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right), \quad (8)$$

де x_1, y_1 – координати точки 1; x_2, y_2 – координати точки 2, визначені GPS-методом. Куты β_i було виміряно оптичним теодолітом ЗТ5КП.

Результати зрівнювання полюсної мережі за формулами, наведеними вище, показані в табл. 1.

Таблиця 1

Зрівнювання трикутників полюсної мережі

№ трикутників	№ кутів	Виміряні куты			Поправка V	Виправлені куты			Синуси кутів	Сторони	Назва сторони
		°	'	"		°	'	"			
1	1	35	34	09	-2	35	34	07	0,5816774	221,726	d_{25}
	2	35	17	59	-2	35	17	57	0,5778458	220,265	d_{15}
	1+2					70	52	04	0,9447647	360,129	b
2	3	54	34	13	-2	54	34	11	0,8148216	224,784	d_{35}
	4	53	29	20	-2	53	29	18	0,8037357	221,726	d_{25}
	3+4					108	03	29	0,9507429	262,281	d_{23}
3	5	33	18	13	-2	33	18	11	0,5490674	211,965	d_{45}
	6	35	36	40	-2	35	36	38	0,5822728	224,784	d_{35}
	5+6					68	54	49	0,9330390	360,196	d_{34}
4	7	57	42	29	-2	57	42	27	0,8453318	220,221	d_{15}
	8	54	27	14	-3	54	27	11	0,8136395	211,965	d_{45}
	7+8					112	09	38	0,9261305	241,271	d_{41}
Суми		360	00	17	-17	360	00	00			

$\Sigma \beta_{вим.} = 360^\circ 00' 17''$; $\Sigma \beta_T = 180^\circ (4 - 2) = 360^\circ$ $f_\beta = \Sigma \beta_{вим.} - \Sigma \beta_T = +17''$; $донf_\beta = 2m_\beta \sqrt{n} = 2 \cdot 5'' \cdot \sqrt{4} = \pm 20''$.

Для визначення прямокутних координат точок полюсної мережі необхідно спочатку обчислити горизонтальні куты в точках 1, 2, 3, 4 між суміжними сторонами ходової лінії за даними, наведеними у табл. 1. Далі обчислюють дирекційні куты α_i для прямих за напрямком ходової лінії горизонтальних кутів (рис. 2) за формулою

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} - \beta_i \pm 180^\circ. \quad (9)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Прирости координат $\Delta x, \Delta y$ обчислюють за формулами

$$\Delta x_i = d_i \cdot \cos \alpha_i, \tag{10}$$

$$\Delta y_i = d_i \cdot \sin \alpha_i, \tag{11}$$

та обчислюють суми приростів координат $\sum \Delta x_{np}, \sum \Delta y_{np}$.

Для замкненого ходу ці суми рівнозначні нев'язкам f_x, f_y

$$f_x = \sum \Delta x_{np}, \tag{12}$$

$$f_y = \sum \Delta y_{np}. \tag{13}$$

Абсолютна нев'язка ходу дорівнює

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \tag{14}$$

Обчислюється відносна нев'язка

$$f_{відн} = \frac{f_{abc}}{P} \leq f_{відн. доп.}, \tag{15}$$

де P – периметр ходу. Допустима нев'язка для даних умов згідно з інструкцією [13] дорівнює $f_{відн. доп} = 1/2000$. Поправки в прирости координат обчислюються пропорційно горизонтальним відстаням d_i після ділення нев'язок $f_{\Delta x}, f_{\Delta y}$ на периметр ходу P , взятих із протилежним знаком. Сума поправок у прирости повинна дорівнювати нев'язці, взятої з протилежним знаком.

Координати вершин теодолітного ходу обчислюють за виправленими приростами координат:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta x_{n+1}, \tag{16}$$

$$Y_{n+1} = Y_n + \Delta y_{n+1}. \tag{17}$$

Результати обчислення координат межових знаків наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Відомість обчислення прямокутних координат межових знаків

Вершини полігону	Виправлені кути β			Дирекційні кути α			Горизонтальні прокладення ліній (м) d	Прирости координат		Координати	
	°	'	"	°	'	"		$\pm \Delta x$	$\pm \Delta y$	X	Y
1	-	-	-	296	06	13					
2	89	52	08	26	14	05	262,281	- 13 +235,264	+ 5 +115,941	5329,777	3894,176
3	86	47	29	119	26	36	360,196	- 15 - 177,059	+ 9 +313,674	5565,028	4010,122
4	93	19	05	206	07	31	241,271	- 11 - 216,621	+ 7 - 106,240	5387,954	4323,805
1	90	01	18	296	06	13	360,129	+158,455	- 323,396	5171,322	4217,572
2							$\sum d$	$f_{\Delta x}$	$f_{\Delta y}$	5329,777	3894,176
Σ	360	00	00				1223,877	+0,039	- 0,021		

Площу земельного масиву садово-огороднього товариства обчислюють аналітичним способом за відомими прямокутними координатами межових знаків фігури, за формулами:

$$2S = \sum_1^n X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}); \tag{18}$$

$$2S = \sum_1^n Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}). \tag{19}$$

Результати обчислень площі земельного масиву садово-городнього товариства зведено в табл. 3.

Таблиця 3

Відомість обчислення площі за координатами межових знаків

Вершини полігону	Координати		Різниці		Добутки	
	X_i	Y_i	$Y_{i+1} - Y_{i-1}$	$X_{i-1} - X_{i+1}$	$X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1})$	$Y_i(X_{i-1} - X_{i+1})$
1	5171,322	4217,572	-429,629	58,177	-2221749,900	245365,686
2	5329,777	3894,176	-207,450	-393,706	-1105662,239	-1533160,456
3	5565,028	4010,122	429,629	-58,177	2390897,415	-233296,868
4	5387,954	4323,805	207,450	393,706	1117731,057	1702307,971
			$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 2S$	$\Sigma = 2S$
					181216,333 м ²	181216,333
					S	S
					90608,166 м ²	90608,166 м ²
					9,0608166 га	9,0608166 га
					9,0608 га	

Запропоновано визначити відмітку верху водонапірної башти. Для цього разом із вимірюваннями горизонтальних кутів виконувалось вимірювання і вертикальних кутів двома прийомами в напрямку на верх башти з визначенням місця нуля теодоліту та розрахунком кутів нахилу візирного променя.

Перевищення між точками спостережень, які включали точки ходової лінії 1, 2, 3, 4, визначалось за формулою тригонометричного нівелювання

$$h = d \cdot \operatorname{tg} v + i + f, \quad (20)$$

де d – горизонтальне прокладення між точками ходової лінії, v – кут нахилу; i – висота інструменту; f – поправка за кривину Землі та рефракцію.

$$f_{\text{аос}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(0,039)^2 + (0,021)^2} = 0,044 \text{ м}; \quad f_{\text{відн}} = \frac{f_{\text{аос}}}{\sum d} = \frac{1}{27815}.$$

Значення поправки за рефракцію в метрах обчислювалось для нормальної рефракції за формулою [16]

$$f_{(m)} = 0,6749 \cdot 10^{-7} \cdot d_{(m)}^2. \quad (21)$$

Перевищення визначались у прямому та зворотному напрямках та розраховувались їх середні значення.

Обчислювалась нев'язка f_h ходу тригонометричного нівелювання

$$f_h = \sum h - (H_K - H_{II}), \quad (22)$$

де $\sum h$ – сума перевищень між початковою та кінцевою точками ходу; H_K, H_{II} – відмітки кінцевої та початкової точок ходу. Нев'язка не повинна перевищувати допустимого значення [13]

$$\partial \text{о}nf_h = 0,04 \cdot d_{\text{сеп}} \sqrt{n}, \quad (23)$$

де $d_{\text{сеп}}$ – середнє значення з горизонтальних прокладень у тригонометричному ході між початковою та кінцевою точками ходу; n – кількість вказаних горизонтальних прокладень.

Поправки у середні перевищення обчислюються пропорційно горизонтальним відстаням d_i після ділення нев'язки f_h , взятої з протилежним знаком, на периметр ходу $\sum d$ між його початковою та кінцевою точками.

Для визначення відмітки H_B водонапірної башти, яка розташована на полюсі 5 полюсної мережі (рис. 2), використана формула [16]

$$H_B = H + d \cdot \operatorname{tg} v + i + f, \quad (24)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

де H – висота станції; d – горизонтальна відстань від станції до башти; V – кут нахилу візирного променя в напрямку на верх башти. За відмітку верху водонапірної башти взято середнє з обчислених її значень в окремих напрямках.

Результати обчислення висот точок ходової лінії та верху висотної споруди (водонапірної башти) наведено в табл. 4.

Запропоновано виконати обчислення координат висотної споруди. Для цього спочатку визначались дирекційні кути напрямків від пунктів ходової лінії на висотну споруду.

$$\alpha_{i5} = \alpha_{i,i+1} + \beta, \tag{25}$$

де α_{i5} – дирекційний кут ходової лінії в напрямку від її пункту (станції) під номером i на висотну споруду (полос під номером 5) (рис. 2); $\alpha_{i,i+1}$ – дирекційний кут ходової лінії в напрямку від її пункту під номером i в напрямку на її пункт під номером $i+$; β – горизонтальний кут між вказаними напрямками.

Координати висотної споруди визначаються за формулами

$$X_5 = X_i + d_{i5} \cdot \cos\alpha_{i5}, \tag{26}$$

$$Y_5 = Y_i + d_{i5} \cdot \sin\alpha_{i5}, \tag{27}$$

де X_i, Y_i – координати пункту ходової лінії (станції); d_{i5} – горизонтальна відстань від пункту ходової лінії під номером i до полюса (пункту 5).

Таблиця 4

Обчислення відміток точок ходової лінії та відмітки верху водонапірної башти

№ пункту	Перевищення h , м та поправки	Горизонтальне прокладення d , м	Відмітка пункту H , м	Кут нахилу ν			Горизонтальна відстань d_{i5} , м	Початкове перевищення h' , м	Висота інструменту i , м	Відмітка полюса (висотної споруди) H^5 , м
				∞	"	'''				
2	-5 +1,23	262,281	86,19	+2	22	40	221,726	+9,21	1,42	96,82
3	-6 -0,96	360,196	85,37	+2	34	24	224,784	+10,10	1,36	96,83
4	-5 +0,64	241,271	84,35	+2	59	23	211,965	+11,07	1,38	96,80
1			86,94	+2	41	33	220,265	+8,43	1,49	96,86
Σ	+0,91	863,748								384,31

$$(H_K - H_{II}) = 86,94 - 86,19 = +0,75 \text{ м}; f_h = \sum h - (H_K - H_{II}) = +16 \text{ мм};$$

$$S_{cep} = 863748/3 = 287916 \text{ м}; n = 3; \partial \text{on} f_h = 0,04 \cdot S_{cep} \sqrt{n} = \pm 20 \text{ см}; h' = d \cdot \text{tg } \nu;$$

$$H'_{5,cep} = 38431/3 = 9683 \text{ м} - \text{відмітка верху висотної споруди.}$$

Розрахунки координат висотної споруди наведено у табл. 5.

Таблиця 5

Обчислення координат водонапірної башти

№ станції	Координати станції, м		Початковий дирекційний напрямок al			Горизонтальний кут β			Дирекційний кут на полюс α_{i5}			Горизонтальна відстань, м	Координати полюса (висотної споруди), м		
	X_i	Y_i	°	'	"	°	'	"	°	'	"	d_{i5}	X_5	Y_5	
1	5171,32	4217,57	296	06	13	35	34	07	331	40	20	220,26	5365,21	4113,05	
4	5387,95	4323,80	206	07	31	57	42	27	263	49	58	211,96	5365,18	4113,07	
$f_5 = 0,04 \text{ м}$												Середнє значення		5365,20	4113,06

З таблиці видно, що для обчислення планових координат перешкоди було використано два напрямки на висотну споруду – від пунктів 1 та 4, які розташовані на початку та в кінці полюсної системи (рис. 2). Такі напрямки мають відповідно найменшу та найбільшу похибки планового положення пункту 5 (висотної споруди). Отже, за різницями координат точки 5 можна зробити висновок про якість визначення планового положення висотної споруди

$$f_5 = \sqrt{(X_{1,5} - X_{4,5})^2 + (Y_{1,5} - Y_{4,5})^2} . \quad (28)$$

Висновки відповідно до статті. Розширено можливості полюсного методу для визначення планових координат і відмітки полюса мережі. Запропоновано під час геодезичного супроводу кадастрових робіт на приаеродромній території разом із визначенням координат меж земельних ділянок та їхніх площ виконувати обчислення координат та відміток перешкод (висотних споруд), розташованих на їхніх територіях, з використанням полюсного методу для створення координатноорієнтованої електронної бази даних висотних перешкод у районі аеропорту. На конкретному прикладі показано технологію застосування полюсного методу, який у комплексі вирішує вказані задачі.

Список використаних джерел

1. *Про затвердження Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року [Електронний ресурс]* : Постанова Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 126. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show>.
2. *Крячок С. Д.* Топографо-геодезичне забезпечення аеропортів / С. Д. Крячок // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2018. – № 1 (11). – С. 239–251.
3. *Terrain and Obstacle Data Manual [Електронний ресурс]*. – Режим доступу : <http://www.eurocontrol.int/publications/terrain-and-obstacle-data-tod-manual>.
4. Переваги використання лідарних даних в ГІС [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/advantages-of-using-lidar-in-gis.htm>.
5. *Schaer, P., Skaloud, J., Tomé, P.* Towards in-flight Quality Assessment of Airbourne Laser Scanning, ISPRS, Beijing 2008.
6. *Tereshchuk O.* Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settlenets / О. Tereshchuk, І. Nystorik // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2016. – Вип. 84. – С. 90–98.
7. *Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями у реальному часі / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторьяк.* // Інженерна геодезія. – 2014. – № 61. – С. 58–77.
8. *Терещук О. І.* Дослідження конструкції опори антени перманентної GPS – станції «Чернігів» / О. І. Терещук, В. В. Суровець, В. І. Мовенко. // Вісник геодезії та картографії. – 2006. – № 3. – С. 8–10.
9. *Бурачек В. Г.* Сумісне використання GPS-технологій та електронної тахеометрії для визначення координат точок опорної мережі / В. Г. Бурачек, І. О. Нисторьяк // Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій : II наук.-практ. конф. – К. : НАУ, 2013. – С. 70–75.
10. *Терещук О. І.* Відновлення міських полігонометричних мереж сучасними супутниковими технологіями / О. І. Терещук, І. О. Нисторьяк, Р. В. Шульц // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2015. – Вип. 82. – С. 59-72.
11. *Крячок С. Д.* Побудова полігонометричних мереж зустрічними ходами / С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 5. – С. 9–12.
12. *Щербак Ю. В.* Про обґрунтування параметрів теодолітних ходів під час виконання кадастрових зйомок / Ю. В. Щербак, В. М. Іванов, М. Я. Бринь // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 1 (1). – С. 230–233.
13. *Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500* : ГКНТА – 2.04-02-98: Офіц. вид. – К. : Укргеоінформ; Гол. упр. геодез., картогр. та кадастру, 1999. – 155 с.
14. *Романчук С. В.* Геодезія : навчальний посібник / С. В. Романчук, В. П. Кирилюк, М. В. Шемякін. – К. : Центр учбової літератури, 2008. – 296 с.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

15. *Порядок* проведення інвентаризації земель від 23 травня 2012 р. № 513 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/513-2012-%D0%BF>.

16. *Островський А. Л.* Геодезія, частина II : підручник для вузів / А. Л. Островський, О. І. Мороз, В. Л. Тарнавський. – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. – 508 с.

References

1. Pro zatverdzhennia Derzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku aeroportiv na period do 2023 roku [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated February 24, 2016 No. 126 on Approval of the State Target Program for the Development of Airports for the period up to 2023]. № 126 (24.02.2016). Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show> [in Ukrainian].

2. Kriachok, S. D. (2018). Topografo-heodezychne zabezpechennia aeroportiv [Topographic and geodetic provision of airports]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the Chernihiv State Technological University. Series «Technical Sciences»*, 1 (11), 239-251 [in Ukrainian].

3. Terrain and Obstacle Data Manual. (n.d.). www.eurocontrol.int. Retrieved from <http://www.eurocontrol.int/publications/terrain-and-obstacle-data-tod-manual> [in English].

4. Perevahy vykorystannia lidarnykh danykh v HIS. [Advantages of Lidar data in GIS]. *desktop.arcgis.com*. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/las-dataset/advantages-of-using-lidar-in-gis.htm> [in Ukrainian].

5. Schaer, P., Skaloud, J. & Tomé, P. (2008). *Towards in-flight Quality Assessment of Airbourne Laser Scanning*. Beijing: ISPRS [in English].

6. Tereshchuk, O., Nystorik, I. (2016). Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settlements. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 84, 90-98 [in Ukrainian].

7. Shults, R. V., Tereshchuk, O. I., Annenkov, A. O. & Nystoriak, I. O. (2014). Praktychni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat za suputnykovyimi tekhnolohiiamy u realnomu chasi [Practical studies of the accuracy of coordinates by satellite technology in real time]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 61, 58–77 [in Ukrainian].

8. Tereshchuk, O. I., Surovets, V. V. & Movenko, V. I. (2006). Doslidzhennia konstruksii opory anteny permanentnoi GPS – stantsii «Chernihiv» [Investigation of the antenna support of the permanent GPS-station "Chernigiv"]. *Visnyk heodezii ta kartohrafiu – Bulletin of Geodesy and Cartography*, 3, 8–10 [in Ukrainian].

9. Burachek, V. H. & Nystoriak, I. O. (2013). Sumisne vykorystannia GPS-tekhnolohii ta elektronnoi takheometrii dlia vyznachennia koordynat tochok opornoї merezhi [Compatible use of GPS technology and electronic taeometry to determine the coordinates of the points of the reference network]. Proceeding from *Scientific and practical conference «Naukovi aspekty heodezii, zemleustroi ta informatsiinykh tekhnolohii» – Scientific-practical conference «Scientific aspects of geodesy, land management and information technologies»* (pp. 70-75) [in Ukrainian].

10. Tereshchuk, O. I., Nystoriak, I. O., Shults, R. V. (2015). Vidnovlennia miskykh polihometrychnykh merezh suchasnymi suputnykovyimi tekhnolohiiamy [Reconstruction of urban polygonometric networks with modern satellite technologies]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 82, 59-72 [in Ukrainian].

11. Kriachok, S. D. & Mamontova, L. S. (2014). Pobudova polihometrychnykh merezh zustrichnyimi khodamy [Construction of polygonometric networks with counter-moves]. *Visnyk heodezii ta kartohrafiu – Bulletin of Geodesy and Cartography*, 5, 9-12 [in Ukrainian].

12. Shcherbak, Yu. V., Ivanov, V. M., Bryn, M. Ya. (2015). Pro obgruntuvannia parametriv teodolitnykh khodiv pid chas vykonannia kadastrykh ziromok [On the substantiation of the parameters of the theodolite moves during the execution of cadastral surveys]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the Chernihiv State Technological University. Series «Technical Sciences»*, 1 (1), 230-233 [in Ukrainian].

13. *Instruktsiia z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 [Instructions for topographic scaling 1:5000, 1:2000, 1:1000 and 1:500]*. (1999). Kyiv: Ukrheoinform [in Ukrainian].

14. Romanchuk, S. V., Kyryliuk, V. P., Shemiakin, M. V. (2008). *Heodeziia [Geodesy]*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].

15. Poriadok provedennia inventaryzatsii zemel vid 23 travnia 2012 r. № 513 [The procedure for inventorying land from May 23, 2012, No. 513]. (n.d.). *zakon1.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/513-2012-%D0%BF> [in Ukrainian].

16. Ostrovskiy, A. L., Moroz, O. I. & Tarnavskiy, V. L. (2007). *Heodeziia, chastyna II [Geodesy, part II]*. Lviv: NU «Lvivska politehnika» [in Ukrainian].

UDK 528.3

Serhiy Kryachok, Yuliya Shcherbak, Liudmyla Mamontova

APPLICATION OF THE POLAR METHOD FOR DETERMINING COORDINATES ON THE TERRITORY NEAR THE AERODROME

Urgency of the research. In Ukraine, the State Target Program for the Development of Airports for the period up to 2023 was adopted. The purpose of the Program is to meet the needs of the state in ensuring a stable development of the aviation industry, bringing the infrastructure of aviation transport in line with international standards

Target setting. To zone of responsibility for the security air transportation belongs the territory near the aerodrome. For civil aviation airports, must have electronic databases on the terrain and obstacles (high-rise objects) within the aerodrome and at the territory near the aerodrome. These databases should have coordinates.

Actual scientific researches and issues analysis. The last publications in the open access, which are devoted to the coverage of geodetic methods for determining the plan coordinates and altitude of high-rise objects on the territory near the aerodrome were considered. Polar method was selected.

Uninvestigated parts of general matters defining. The polar method has the potential for determining the plan coordinates and altitude of high-rise objects. This is necessary for the prompt introduction of amendments and additions on the boundaries of land plots, their coordinates and the area.

The research objective. The main purpose of this article is to use a combined method using GPS-observations and a network in the form of a polar system for determining the coordinates of boundary marks, calculating the area of land and determining the coordinates and altitude of high-rise buildings at the territory near the aerodrome.

The statement of basic materials. The geometric nature of the known pole construction in the form of a network of triangles with a definite basis, whose vertices converge in one point - the pole. In each triangle, two horizontal angles are measured. The theoretical basis and algorithm for calculating points coordinates are given. It is proposed to calculate the plane coordinates of the pole - the point of finding a high-rise building and measure along with the horizontal angles and vertical angles of the same directions. This allows to compute an altitude on the top of a high-altitude object. In a concrete example, the use of the pole method for determining the plan coordinates of the boundaries of the land mass, calculating its area and determining the plan coordinates and altitude the top of a high-rise building located on the territory of the array, is shown.

Conclusions. It is offered during geodetic accompaniment of cadastral works on the territory of the aerodrome to determine the coordinates of the boundaries of land plots and their area and coordinates and heights of high-rise buildings located on their territory using the polar method. This allows to create a coordinate electronic database of high-altitude obstacles in the airport area.

Keywords: the territory near the aerodrome; Electronic database of obstacles; area definition; cadastral works.

Fig.: 2. **Table:** 5. **References:** 16.

Крячок Сергій Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Kryachok Serhiy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: geodesist2015@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

ResearcherID: N-3061-2016

Щербак Юлія Володимирівна – магістр, викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Shcherbak Yuliya – master, lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: Shch.Yu15@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3439-3792>

ResearcherID: H-4199-2016

Мамонтова Людмила Степанівна – старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Mamontova Lyudmila – Senior Lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology. (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: liudmila.mamontova@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4144-5261>

ResearcherID: N-3070-2016