

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.3.108-121

УДК 528.332

к.т.н., доцент **Зуска А.В.**,

zuska.a.v@nmu.one, ORCID: 0000-0002-5693-6647, H-index 3,

к.т.н., доцент **Трегуб Ю.Є.**,

tregub.yu.ye@nmu.one, ORCID: 0000-0002-6772-245X, H-index 4,

к.т.н., доцент **Янкін О.Є.**,

yankin.o.ye@nmu.one, ORCID: 0000-0003-3208-3253, H-index 3,

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» м. Дніпро

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПЕРЕТВОРЕННЯ КООРДИНАТ ПОВОРОТНИХ ТОЧОК ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК ІЗ СИСТЕМИ СК-63 В УСК-2000 НА ЇХ ЛІНІЙНІ ПАРАМЕТРИ ТА ПЛОЩУ

З початком застосовування нової державної референційної системи УСК-2000 виникло питання перетворення координат поворотних точок меж земельних ділянок. Таке перетворення є важливим для забезпечення геодезичних робіт у багатьох сферах – проектування, будівництво, землеустрій тощо. У статті досліджено вплив параметрів перетворення на розбіжність лінійних параметрів точок кутів повороту меж земельних ділянок із системи координат СК-63 в систему УСК-2000. Виконано аналіз значень координат і лінійних параметрів земельних ділянок із застосуванням коефіцієнтів перетворення афінним методом за формулами та порівняно з обчисленими в програмному комплексі Digitals. Незалежно від площі та орієнтування земельної ділянки сума приростів її координат дорівнює нулю в системах СК-63 і УСК-2000, при цьому розбіжність площі залежить від розмірів земельної ділянки. Для уточнення фактичної площі земельної ділянки на фізичній поверхні Землі яка має довжини меж більше 500 м необхідно редукувати її на відлікову поверхню референц-еліпсоїду та площину проєкції Гаусса-Крюгера. якщо ділянка була прив'язана до пунктів державної мережі. Результати досліджень можна враховувати під час визначення площі земельних ділянок в системі координат УСК-2000 до 25 гектарів.

Ключові слова: система координат; точність координат; УСК-2000; перетворення координат; афінний метод; дати.

Постанова проблеми. Постанова Кабінету Міністрів України [2] зобов'язує виконання топографо- геодезичних та картографічних робіт здійснювати в Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000, що призвело до розв'язання непростих задач. Проблема переходу від різних

геодезичних систем координат в УСК-2000 виникла через наявність багатьох систем координат на території України протягом тривалого часу. На сьогодні в Україні існує одна *державна система координат* – УСК-2000, що замінила існуючу систему СК-42. Державна геодезична референсна система координат УСК-2000 залучає: просторову прямокутну систему координат XYZ , геодезичну (еліпсоїдальну) систему координат BLH , прямокутну систему координат на площині XY проекції Гаусса-Крюгера в 6-ти (СК-42) та 3-ох градусних (СК-63) зонах і 27 місцевих систем координат [1, 2, 3].

Виконуючи геодезичні вимірювання в системі СК-63, координати якої визначені на основі колишньої державної системи СК-42, в положенні поворотних точок меж земельних ділянок виникають розбіжності при переході в систему УСК-2000. Виконавці геодезичних робіт пов'язують ці розбіжності тільки з недостатньою точністю визначення координат пунктів в системі СК-42. Розглянемо деякі фактори, які могли вплинути на точність положення пунктів державної геодезичної мережі в системі координат СК-42?

Побудова державної геодезичної мережі в СК-42 ґрунтувалась чітко на вимогах, які зазначено в Інструкції про побудову державної геодезичної мережі (1966 р.), але сам процес побудови був довгим і тривав майже 30 років. За цей період з'явилися нові конструкції геодезичних приладів, методи та методика вимірювань, які стали до попередніх нерівноточними. Не можна виключати вплив на положення пунктів геодезичної мережі екологічних і техногенних природних явищ, інженерно-господарської діяльності людини та регіону розташування мережі. Крім того, положення пунктів державної мережі на протязі десятиліть не контролювалися, а за повторними вимірюваннями в 1982 – 1993 рр., визначені розбіжності координат пунктів мережі, які становили до 2 метрів не були внесені в каталог для корегування координат. Це все і призвело до незбіжності взаємозв'язку між системами координат. Тому впровадження нової точної державної референсної геодезичної системи УСК-2000 для встановлення взаємозв'язку пунктів геодезичних мереж систем СК-42/СК-63 і МСК під час топографо-картографічних робіт стало необхідністю [3].

Для приведення координат до однієї системи існує декілька методів: перехід між різними розмірами координат, коли обидві системи координат мають однаковий геодезичний датум, перехід між різними системами координат з різним датумом, картографічними проекціями та трансформації датумів. Такими методами є: метод Гельметра, Молоденського і афінний на площині та в просторі. З аналізу попередніх наукових публікацій встановлено, що основною проблемою перетворення координат між системами СК-63/СК-42 в УСК-2000 є вибір методів, точність перетворення координат і площ земельних ділянок. Перетворення координат різних систем в єдину державну систему є вагомим для

геодезичного забезпечення проектування, будівництва цивільних і промислових будівель, інженерних споруд тощо.

В даній статті авторами розглянуто вплив перетворення координат в УСК-2000 на лінійні параметри та площу земельних ділянок координат поворотних точок, отриманих в Digitals на конкретних об'єктах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показала практика – втілення нової точної референцної геодезичної системи УСК-2000 серед науковців і фахівців у сфері геодезії та землеустрою викликає багато пропозицій щодо методів й точності переходу від координат однієї референцної системи до іншої.

Аналізуючи попередні публікації зазначимо, що більшість із них присвячено впровадженню системи координат УСК-2000 в сферу топографо-геодезичної та картографічної діяльності, питанню точності перетворення координат пунктів та методам їх подолання. Такі питання досліджуються в публікаціях вітчизняних науковців [4, 5, 6, 7, 8]. Наприклад в публікації [4] оцінена ситуація та можливості застосування системи координат УСК-2000, досліджено та проаналізовано застосування відомих шляхів перетворення накопиченої просторової інформації на базі системи координат СК-42 до системи координат УСК-2000. Так у роботі [5] зазначено, що для виконання точної прив'язки координатної основи необхідно зробити трансформаційне поле загальновідомим для отримання параметрів переходу між СК-42, СК-63 і МСК до УСК-2000. Причинами для цього, на погляд авторів є масштабна трансформація координат під час переходу на площину проєкції Гаусса-Крюгера.

Головною умовою трансформування є однорідність відповідних координатних систем щодо їх точності, яка найбільше впливає на результати трансформування, особливо для взаємної узгодженості традиційних і супутникових методів визначення положення пунктів геодезичної мережі [6]. Авторами досліджено, що афінне трансформування методом скінченних елементів порівняно з іншими методами забезпечує вищу точність, оскільки звужує деформацію геодезичних мереж з менш точними координатами пунктів під час переходу до системи координат з більш точними координатами.

Неоднозначність деформацій мережі під час переходу від системи координат СК-42 (та її похідних) до системи координат УСК-2000 обґрунтовано розв'язувати через трансформаційне поле у середовищі ArcGIS ESRI [7]. Основні вимоги до трансформування координат, методи трансформування та фактори, які впливають на якість трансформування, трансформування координат методом скінченних елементів за створеним трансформаційним полем у вигляді TIN-моделі та GRID-моделі викладено в роботі [8]. Авторами статті [9]

досліджено проблему точності отримання координат при переході від систем СК-42/СК-63 у систему координат WGS-84 і навпаки, яка залежить від параметрів Гельмерта, що мають відмінність у різних програмних забезпеченнях, наведено результати перетворень координат за параметрами Гельмерта, проаналізовано запропоновану технологію координатного перетворення та трансформування афінним методом.

В статті [10] на підставі оцінки точності афінного перетворення встановлено, що вплив перетворюючих параметрів (коефіцієнтів) a і b на величину середньої квадратичної похибки координат залежить від взаємного розташування вихідних точок та їх кількості, але не залежить від площі перетворення.

Перетворення систем координат СК-42/СК-63 в систему УСК-2000 має вплив на геометричні елементи земельних ділянок. Вплив референцної системи УСК-2000 на точність визначення площ і геометричних параметрів земельних ділянок досліджено в публікаціях [11, 12, 13, 14]. Як зазначено в публікації [11], система УСК-2000 повинна забезпечувати узгодженість натурних даних окремих земельних ділянок і даних, отриманих в результаті їх опрацювання на площині. В [13] досліджено, що на зміну площі земельної ділянки впливає розбіжність центрів просторових прямокутних координат, орієнтація осей, параметри відлікових еліпсоїдів і деформації між системами координат СК-63 і УСК-2000. Точність визначення геометричних параметрів земельних ділянок через відмінність референцних систем координат, порівняння площ об'єктів у системах координат СК-63 та УСК-2000 зазначено в роботах [13, 14].

Актуальність роботи полягає у визначенні впливу перетворення координат поворотних точок земельних ділянок у систему УСК-2000 на лінійні параметри (прирости координат, довжини меж між точками повороту) і площу земельних ділянок малих розмірів.

Мета роботи. Проаналізувати як впливає перетворення координат поворотних точок із системи СК-63 в систему УСК-2000 на лінійні параметри та площу земельних ділянок малих розмірів і встановити розбіжність координат, отриманих в програмі Digital та афінним методом за формулами на конкретних прикладах.

Постанова завдання полягає у визначенні впливу на лінійні параметри поворотних точок земельних ділянок перетворення координат у систему УСК-2000 та порівняння перерахованих координат з використанням програми Digital і обчислених за формулами афінного методу перетворення.

Виклад основного матеріалу. Розв'язання поставленого завдання було виконано на прикладі трьох різних за розміром та орієнтуванні об'єктів з

відомими координатами поворотних точок, визначеними в системі СК-63 і перетвореними в УСК-2000 за допомогою Digitals.

Для порівняння аналогічних координат поворотних точок досліджуваних земельних ділянок було використано афінне перетворення на площині за формулами. Афінне перетворення старої системи у нову на площині можна виконати з використанням сумісних точок: X_c, Y_c і Y_n, Z_n , де X_c, Y_c – координати точки у старій системі, а X_n, Y_n – координати в новій.

Альтернативою сполучним точкам є коефіцієнти та параметри афінного перетворення на площині: зміщення точки, прийнятої за початкову на північ за віссю X і на схід за віссю Y ; кут повороту координатних осей систем – Θ ; коефіцієнт масштабування – m [10, 11].

Афінне перетворення координат на площині найчастіше виконують в такій послідовності: визначають параметри перетворення на основі пунктів (не менше трьох) координати яких відомі в обох системах; перетворення координат пунктів, які існують тільки в одній системі координат [10, 11].

Рішення задачі трансформації зводиться до знаходження коефіцієнтів системи рівнянь. У разі афінного перетворення, система рівнянь виглядає так:

$$\left. \begin{aligned} X'_i &= f_1(X, Y) = a_0 + a_1X_i + a_2Y_i \\ Y'_i &= f_2(X, Y) = b_0 + b_1X_i + b_2Y_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де X, Y – відомі координати точок у вихідній системі координат; X', Y' – відомі координати тих же точок у новій системі координат; $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – невідомі коефіцієнти перетворення (шість).

Таким чином для перетворення координат в нову систему, маючи шість невідомих необхідно мати 3 пари точок з відомими координатами до і після перетворення ($X_1, Y_1; X_2, Y_2; X_3, Y_3$ і $X'_1, Y'_1; X'_2, Y'_2; X'_3, Y'_3$), відповідно буде три рівнянь, які можна розділити на дві групи для X_i та Y_i :

$$\left. \begin{aligned} X'_1 &= a_0 + a_1X_1 + a_2Y_1, \\ X'_2 &= a_0 + a_1X_2 + a_2Y_2, \\ X'_3 &= a_0 + a_1X_3 + a_2Y_3. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} Y'_1 &= b_0 + b_1X_1 + b_2Y_1 \\ Y'_2 &= b_0 + b_1X_2 + b_2Y_2 \\ Y'_3 &= b_0 + b_1X_3 + b_2Y_3 \end{aligned} \right\}$$

Кожна група використовується для отримання коефіцієнтів a_i і b_i . У матричній формі це виглядає так, для a і b :

Відповідно до рівнянь (2) рівняння поправок для X і Y в матричному виді:

$$A\delta - l = \vartheta, \quad (3)$$

де A – матриця координат точок в старій системі X, Y перед невідомими коефіцієнтами; δ – матриця вектор-стовпець невідомих коефіцієнтів; l – матриця вектор-стовпець вільних членів (відомі координати X', Y' точок в новій системі).

Матрицю невідомих коефіцієнтів перетворення знаходять за виразом

$$\delta = (A)^{-1} l,$$

де A^{-1} – обернена матриця до матриці A ; l – матриця вектор-стовпець вільних членів.

Коефіцієнти перетворення δ_a для абсцис і δ_b для ординат афінного методу на площині за відомими координатами точок в вихідній СК-63 та новій системах УСК-2000 обчислюються за формулами:

$$\delta_a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = A^{-1} \cdot l_x, \quad \delta_b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = A^{-1} \cdot l_y, \quad (4)$$

де $A^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix}^{-1}$ – обернена матриця до матриці вихідних координат точок в старій системі;

$l_x = \begin{bmatrix} X'_1 \\ X'_2 \\ X'_3 \end{bmatrix}$, $l_y = \begin{bmatrix} Y'_1 \\ Y'_2 \\ Y'_3 \end{bmatrix}$ – матриці-стовпці вихідних координат точок в новій системі;

X_i, Y_i, X'_i, Y'_i – координати точок в обох системах координат (СК-63 і УСК-2000);

i – номер точки.

Визначення координат точок в новій (УСК-2000 за відомими координатами тільки в вихідній системі СК-63 виконуються за формулами в вигляді матриць:

$$\begin{bmatrix} X'_1 \\ X'_2 \\ X'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} Y'_1 \\ Y'_2 \\ Y'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

За результатами аналізу лінійних параметрів земельних ділянок за вихідними координатами СК-63 та перетвореними в УСК-2000 встановлено, що незалежно від значень координат та розмірів ділянок сума приростів в обох системах дорівнює нулю, а розбіжність площі залежить від розмірів, форми земельної ділянки та точності визначення координат поворотних точок (табл.1). Зауважимо, що площі земельних ділянок не потребували редукування на площину проекції Гаусса-Крюгера за їх малих значень.

Для визначення середньої квадратичної похибки площі m_p в системах СК-63 і УСК-2000 була використана класична формула для площі прямокутника, обмеженої територією [11].

$$m_p = m_{x,y} \sqrt{P},$$

де $m_{x,y}$ – середня квадратична похибка координат положення поворотних точок земельної ділянки (прийнято $m_{x,y} = 0,05$ і $m_{x,y} = 0,02$ м); P – площа земельної ділянки.

Залежність точності площі m_p від точності координування поворотних точок земельних ділянок показано на (рис. 1).

Таблиця 1

Лінійні параметри земельних ділянок в системах СК-63 і УСК-2000

№ точки	Прирости координат між точками повороту				Розбіжність приростів між системами, м		Довжина меж між поворотними точками, м		Площа, Р земельних ділянок; m_p , m^2
	ΔX , м	ΔY , м	$\Delta X'$, м	$\Delta Y'$, м	$\Delta X' - \Delta X$	$\Delta Y' - \Delta Y$	S , м	S' , м	Різниця площ – ΔP m^2
	СК-63		УСК-2000		СК-63	УСК-2000	СК-63	УСК-2000	$P - СК-63$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Земельна ділянка №1									
1-2	-138,370	72,442	-135,952	76,895	2,418	4,454	156,186	156,192	$P = 12091,503$
2-3	-32,152	-74,364	-34,548	-73,285	-2,397	1,079	81,017	81,020	1,2092 га,
3-4	87,364	-45,631	85,842	-48,413	-1,522	-2,782	98,563	98,553	$m_p = 5,498$
4-5	38,199	-19,909	37,533	-21,168	-0,666	-1,259	43,076	43,091	$P' = 12090,502$
5-6	1,514	-0,908	1,483	-0,957	-0,030	-0,049	1,765	1,765	1,2090 га,
6-1	43,445	68,371	45,642	66,928	2,197	-1,443	81,007	81,010	$m_p = 5,498$
Σ	0	0	0	0	0,000	0,000	461,614	461,630	$\Delta P = P' - P = 1,001$

Продовження табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Земельна ділянка №2</i>									
1-2	-2,641	-3,036	-2,542	-3,121	0,099	-0,085	4,025	4,024	$P = 27,324$
2-3	-5,174	4,437	-5,317	4,267	-0,143	-0,170	6,818	6,816	$0,0027$ за $m_p = 0,261$
3-4	2,711	2,995	2,612	3,083	-0,099	0,088	4,041	4,040	$P' = 27,324$
4-1	5,104	-4,396	5,247	-4,229	0,143	0,167	6,739	6,736	$0,0027$ за, $m_p = 0,261$
Σ	0	0	0	0	0	0	21,623	21,616	$\Delta P = P' - P = 0$
<i>Земельна ділянка №3</i>									
1-2	21,533	-24,879	20,714	-25,575	-0,819	-0,696	32,903	32,911	
2-3	51,817	46,783	53,332	45,077	1,515	-1,706	69,812	69,830	$P = 2159,0246$
3-4	-15,514	19,255	-14,881	19,757	0,633	0,502	24,727	24,734	0,2159
4-5	-8,779	-7,083	-9,008	-6,794	-0,229	0,289	11,280	11,283	$m_p = 2,323 \text{ м}^2$
5-6	-4,112	-0,151	-4,116	-0,017	-0,004	0,134	4,115	4,116	
6-7	-5,012	-1,086	-5,046	-0,922	-0,034	0,164	5,128	5,130	$P' = 2160,1528$
7-8	-3,568	-1,339	-3,611	-1,222	-0,043	0,117	3,811	3,812	0,2160
8-1	-36,365	-31,500	-37,384	-30,304	-1,019	1,196	48,111	48,124	$m_p = 2,324 \text{ м}^2$
Σ	0	0	0	0	0		199,887	199,940	$\Delta P = P' - P = 1,128$

Рис. 1. Залежність точності площі від $m_{x,y}$ координат точок повороту

Для порівняння перетворених координат в програмі DigitalS були обчислені координати цих же точок за формулами (3) – (5) афінного методу Розбіжності (поправки) координат, обчислених за формулами та отриманих в DigitalS знайдена за формулою (6) в матричному вигляді. Результати обчислень координат і поправки наведено в (табл. 2).

$$\begin{bmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta_2 \\ \vartheta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X'_1 \\ X'_2 \\ X'_3 \end{bmatrix} = \vartheta_X, \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta_2 \\ \vartheta_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & Y_1 \\ 1 & X_2 & Y_2 \\ 1 & X_3 & Y_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} Y'_1 \\ Y'_2 \\ Y'_3 \end{bmatrix} = \vartheta_Y.$$

Таблиця 2

Розбіжності координат за формулами в матричному вигляді

№ точ.	Земельна ділянка 1				Розбіжність (поправки), м	
	В DigitalS УСК-2000		За формулами УСК-2000		ϑ_x	ϑ_y
	$X', м$	$Y', м$	$X', м$	$Y', м$		
1	5322169,755	*597807.177	5322169.755	*597807.175	0	0
2	5322033,803	*597884.072	5322033.803	*597884.072	0,0	0,0
3	5321999,255	*597810.787	5321999.255	*597810.785	0,0	0,0
4	5322085,097	*597762,374	5322085,097	*597762.374	0	0
5	5322122,630	*597741,206	5322122,630	*597741.205	0	0.001
6	5322124,114	*597740,249	5322124.114	*597740.248	0	0.001
	Земельна ділянка 2					
1	5372108,317	*650666,938	5372108,319	*650666,939	0,002	0,001
2	5372105,196	*650664,396	5372105,198	*650664,397	0,002	0,001
3	5372109,463	*650659,079	5372109,465	*650659,08	-0,002	0,001
4	5372112,546	*650661,691	5372112,547	*650661,694	-0,001	0,003
	Земельна ділянка 3					
1	5370128,519	*652172,304	5370128,518	*652172,456	0	0
2	5370149,233	*652146,729	5370149,233	*652146,729	0	0
3	5370202,565	*652191,806	5370202,564	*652191,805	0,001	0,001
4	5370187,684	*652211,563	5370187,684	*652211,563	0	0
5	5370178,676	*652204,769	5370178,676	*652204,768	0	0.001
6	5370174,560	*652204,752	5370174,560	*652204,752	0	0
7	5370169,514	*652203,830	5370169,514	*652203,830	0.000	0
8	5370165,903	*652202,608	5370165,902	*652202,609	0.001	0.001

За координатами напрямків меж у системах СК-63 і УСК-2000 відносно точки, яку прийнято за початкову знайдено параметри перетворення: кут повороту θ осей координат X і U даних систем і коефіцієнт масштабування m для кожної досліджуваної земельної ділянки (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти та параметри афінного методу перетворення координат на площині

Точки прив' язки	Коефіцієнти перетворення афінного методу		Параметри перетворення		Схеми земельних ділянок
	δ_a	δ_b	m	θ	
<i>Земельна ділянка №1</i>					
1	-157106.5782	1561253.7906			
2	0.9995105	-0.0324397	$m_x=1,0002381$	$\theta_x= -1\ 52\ 17,0$	
3	0.0324394	0.9995103	$m_y=1,0002654$	$\theta_y= -1\ 52\ 20,4$	
<i>Земельна ділянка №2</i>					
1	-158592.1141	1559812.1142			
2	0.9996653	-0.0324465	$m_y=1,0002995$	$\theta_y= -1\ 51\ 31,2$	
3	0.0325696	0.9998135	$m_x=1,0002210$	$\theta_x= -1\ 52\ 02,0$	
<i>Земельна ділянка №3</i>					
1	-159535.14392	1561512.1019			
2	0.99972846	-0.0326599	$m_x=1,0000368$	$\theta_x= -1\ 51\ 32,0$	
3	0.03268431	0.9997080	$m_y=1,0000365$	$\theta_y= -1\ 51\ 30,2$	
1					

Слід зауважити, що для перерахунку (перетворення) координат в нову систему афінним методом на площині за формулами коефіцієнти a , b і m слід обраховувати не менше як до сьомого знаку після коми.

За координатами точок повороту меж конкретних земельних ділянок в УСК-2000 визначено, що вони знаходяться на сході від осьового меридіану шестиградусної зони з зональними ординати від 98 до 152 км, тому поправка за перехід на площину проекції Гаусса-Крюгера для площі 1 га становитиме лише 1 мм².

Висновки. На підставі виконаних досліджень щодо впливу перетворення координат за вихідними координатами СК-63 та перетвореними в УСК-2000 Digitals поворотних точок меж земельних ділянок різних розмірів та орієнтування на лінійні параметри та площу встановлено:

– незалежно від значень координат та розмірів земельних ділянок сума приростів в обох системах дорівнює нулю, а розбіжність площі залежить від

розмірів параметрів ділянки та точності визначення координат поворотних точок.

– вплив похибок визначення перетворюючих коефіцієнтів a і b на точність координат визначається взаємним розташуванням вихідних точок та їх кількістю, але не залежить від площі перетворення;

– порівняння координат, отриманих за формулами в матричному вигляді та в програмі Digitals показало, що розбіжність координат не перевищує 0,002 м.

– кут повороту координатних осей системи СК-63 і УСК-2000 для всіх досліджуваних земельних ділянок незалежно від регіону розташування знаходиться в межах $1^{\circ}51,5'$ – $1^{\circ}52,3'$, а коефіцієнт масштабування більше одиниці.

Перелік посилань

1. Порядок використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою: наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 02.12.2016 № 509. URL: [https:// zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#n1](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#n1).

2. Порядок побудови Державної геодезичної мережі: постанова Кабінету Міністрів України від 7.08.2013 р. № 646 URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-п>.

3. Тарапатов М.М. Державна референтна система координат УСК-2000 та її зв'язок із іншими світовими і європейськими системами координат. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. Зб. наук. пр.* – 2007. – №7. – С. 174–179.

4. Боровий В., Зарицький, О. Застосування нової референцної системи координат УСК-2000. *Проблеми та пропозиції. Землепорядний вісник.* Київ: №4, 2017. – С. 22-27.

5. Савчук С.Г., Задемленюк А.В. Про нові технології створення координатної основи для кадастрових робіт. *Зб. матер. наук.- практ. конф. «Нові технології в геодезії, землепорядкуванні та лісовпорядкуванні».* – Ужгород: 2008. – С. 16–18.

6. Карпінський Ю.О., Кучер О.В., Заєць І.М. Обґрунтування методу та побудова трансформаційного поля перетворення координат між системами СК-42 та УСК-2000. *Геодезія, картографія і аерофотознімання.* – 2013. – Вип. 78 – С. 169-172.

7. Карпінський Ю.О., Нудельман В.І. Використання Державної геодезичної референтної системи координат УСК-2000 у середовищі Arcgis ESRI. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб.* Київ. нац. ун-т буд-ва та архіт. – Київ: КНУБА, вип. 68, 2018. – С. 725–733.

8. Боровий В.О., Зарицький О.В., Кінь Д.О. Технологія координатного перетворення та трансформування при геодезичних та землепорядних роботах. *Новітні технології випуск. Збірник наукових праць.* Київ: Вип. 2(4), 2017. – С. 16-20.

9. Зуска А.В., Мищенко І.І. Априорная оценка точности некоторых параметров при аффинном преобразовании плоских прямоугольных координат. *Збірник наукових праць НГУ.* – Дніпро: НГУ 2018. – С. 288–296.

10. Кучер О. В., Куриляк І. С., Староверов В. С., Кошелюк Н. К. Дослідження методики трансформування геодезичних, топографо-картографічних та кадастрових матеріалів у систему координат УСК-2000. *Інженерна геодезія.* – 2017. – Вип. 64. – С. 28 – 44. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ig_2017_64_5

11. Зарицький О.В., Боровий В.О. Щодо точності визначення площ в новій референційній системі координат УСК-2000. *Землепорядний вісник.* Київ: №3, 2019. – С. 28-32.

12. Новікова О.М., Паламар А.Ю. Зміна площі земельної ділянки при переході від системи СК-63 до УСК – 2000. Сучасні тенденції розвитку геодезії, землеустрою та природокористування: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції. Одеса: ОДАУ 2022. – С. 39-45.

13. Кубах С. Вплив стану геодезичної основи на точність визначення геометричних параметрів земельних ділянок. Геодезія картографія та аерофотознімання. Міжвідомчий науково-технічний збірник ЛП. – Львів: 2010, вип. 73. – С. 69–73.

14. Шеремет Н.В., Янчук Р.М. Порівняння площ об'єктів у системах координат СК-63 та УСК-2000. Студентський вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Випуск 1(15). 2021. – С. 41-45.

Candidate of Technical Science **Ada Zuska**,
associate Professor of the Department of Geodesy,
Candidate of Technical Science **Yuliia Trehub**,
associate Professor of the Department of Geodesy,
Candidate of Technical Science **Oleksandr Yankin**,
associate Professor of the Department of Geodesy,
Dnipro University of Technology, Dnipro

ANALYSIS OF THE IMPACT OF CONVERTING THE COORDINATES OF TURNING POINTS OF LAND PLOTS FROM THE SK-63 SYSTEM TO USK-2000 ON THEIR LINEAR PARAMETERS AND AREA

With the introduction into use of the new state reference system USK-2000, the issue of converting the coordinates of the turning points of the boundaries of land parcels into USK-2000 arises, which is important for geodetic support of the design, construction of engineering structures, etc. The article examines the influence of the transformation parameters on the divergence of the linear parameters of the turning points from the SK-63 coordinate system to the USK-2000 system. The analysis of coordinates and linear parameters of land plots was carried out using conversion coefficients using the affine method according to formulas and compared with those calculated in the Digitals program. Regardless of the area and orientation of the land plot, the sum of increments of its coordinates is equal to zero in the SK-63 and USK-2000 systems, while the area discrepancy depends on the size of the land plot. To clarify the actual area of a land plot on the physical surface of the Earth, which has a boundary length of more than 500 m, it is necessary to reduce to the reference surface the reference ellipsoid and the Gauss-Kruger projection plane. if the site was connected to the points of the state network.

The relevance of the work is to determine the influence of the transformation of the coordinates of the turning points of land plots in the USK-2000 system on linear parameters (coordinate increments, lengths between the turning points of borders) and the area of small land plots.

The goal of the work. Analyze the discrepancy of linear parameters and the area of land plots after converting the coordinates of turning points from the SK-63 system to the USK-2000 system in the Digitals program and by the affine method using formulas on specific examples. Research results can be taken into account when considering the issue of determining the area of land plots in the USK-2000 coordinate system up to 25 hectares.

Key words: coordinate system; coordinate accuracy; coordinate transformation; USK-2000; affine method; datums.

REFERENCES

1. Poriadok vykorystannia Derzhavnoi heodezychnoi referentsnoi systemy koordynat USK-2000 pry zdiisnenni robot iz zemleustroi: nakaz Ministerstva ahrarynoi polityky ta prodovolstva Ukrainy vid 02.12.2016 № 509. 3 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#n1>. {in Ukrainian}
2. Poriadok pobudovy Derzhavnoi heodezychnoi merezhi. Zatverdzheno postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 7 serpnia 2013 r. № 646 [Elektronnyi resurs]. <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-p>. {in Ukrainian}
3. Tarapatov M.M. Derzhavna referentna systema koordynat USK-2000 ta yii zviazok iz inshymy svitovymy i yevropeyskymy systemamy koordynat. Problemy bezpererвної heohrafichnoi osvity i kartohrafi. Zb. nauk. pr. – 2007. – №7. – S. 174 – 179. {in Ukrainian}
4. Borovyi V., Zarytskyi, O. Zastosuvannia novoi referentsnoi systemy koordynat USK-2000. Problemy ta propozyzii. Zemlevporiadnyi visnyk. Kyiv: №4, 2017. – S. 22-27. {in Ukrainian}
5. Savchuk S.H., Zademleniuk A.V. Pro novi tekhnolohii stvorennia koordynatnoi osnovy dlia kadaastrovykh robot. Zb. mater. nauk.- prakt. konf. «Novi tekhnolohii v heodezii, zemlevporiadkuvanni ta lisovporiadkuvanni». – Uzhhorod: 2008. – S. 16–18. {in Ukrainian}
6. Karpinskyi Yu.O., Kucher O.V., Zaiets I.M. Obgruntuvannia metodu ta pobudova transformatsiinoho polia peretvorennia koordynat mizh systemamy SK-42 ta USK-2000. Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia. – 2013. – Vyp. 78 – S. 169-172. {in Ukrainian}
7. Karpinskyi Yu.O., Nudelman V.I. Vykorystannia Derzhavnoi heodezychnoi referentnoi systemy koordynat USK-2000 u seredovyshchi Arcqis ESRI. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia: nauk.-tekhn. zb. Kyiv. nats. un-t bud-va ta arkhit. – Kyiv: KNUBA, vyp. 68, 2018. – S. 725–733. {in Ukrainian}
8. Borovyi V.O., Zarytskyi O.V., Kin D.O. Tekhnolohiia koordynatnoho peretvorennia ta transformuvannia pry heodezychnykh ta zemlevporiadnykh robotakh.

Novitni tekhnolohii vypusk. Zbirnyk naukovykh prats. Kyiv: Vyp. 2(4), 2017. – S. 16-20. {in Ukrainian}

9. Zuska A.V., Mishchenko I.I. Apryornaiia otsenka tochnosti nekotorykh parametrov pry affynnom preobrazovanny ploskykh priamouholnykh koordynat. Zbirnyk naukovykh prats NHU. – Dnipro: NHU 2018. – S. 288–296. {in Russian}

10. Kucher O.V., Kuryliak I.S., Starovierov V.S., Kosheliuk N.K. Doslidzhennia metodyky transformuvannia heodezychnykh, topografo-kartografichnykh ta kadastrykh materialiv u systemu koordynat USK-2000. Inzhenerna heodeziia. – 2017. – Vyp. 64. – S. 28 – 44. – Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ig_2017_64_5. {in Ukrainian}

11. Zarytskyi O.V., Borovyi V.O. Shchodo tochnosti vyznachennia plosch v novii referentsnii systemi koordynat USK-2000. Zemlevporiadnyi visnyk. Kyiv: №3, 2019. – S. 28-32. {in Ukrainian}

12. Novikova O.M., Palamar A.Iu. Zmina ploschi zemelnoi dilianky pry perekhodi vid systemy SK-63 do USK – 2000. Suchasni tendentsii rozvytku heodezii, zemleustroi u ta pryrodokorystuvannia: zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii. Odesa: ODAU 2022. – S. 39-45. {in Ukrainian}

13. Kubakh S. Vplyv stanu heodezychnoi osnovy na tochnist vyznachennia heometrychnykh parametrov zemelnykh dilianok. Heodeziia kartografiia ta aerofotoznmannia. Mizhvidomchy naukovotekhnichnyi zbirnyk LP. – Lviv: 2010, vyp. 73. – S. 69–73. {in Ukrainian}

14. Sheremet N.V., Yanchuk R.M. Porivniannia plosch obiektiv u systemakh koordynat SK-63 ta USK-2000. Studentskyi visnykh Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Vypusk 1(15). 2021. – S. 41–45. {in Ukrainian}