

Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Кафедра управління земельними ресурсами

Анисенко О. В.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
з дисципліни
«ВИЩА ТА СУПУТНИКОВА ГЕОДЕЗІЯ»**

Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Випуск 249

Миколаїв – 2017

УДК 528:629.783(076)

А 67

Рекомендовано до друку вченою радою ЧНУ ім. Петра Могили (протокол № 11 від 30 червня 2017 р.).

Рецензенти:

Яремко Ю. І. – д-р екон. наук, доцент, перший проректор з науково-педагогічної роботи Херсонського державного аграрного університету;

Сохнич А. Я. – д-р екон. наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, академік АН ВО України, завідувач кафедри управління земельними ресурсами Львівського національного аграрного університету;

Котикова О. І. – д-р екон. наук, професор, завідувач кафедри економіки підприємств Миколаївського національного аграрного університету.

А 67

Анисенко О. В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія» : галузь знань 19 «Архітектура та будівництво» ; спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій» / О. В. Анисенко. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2017. – Вип. 249. – 80 с. (Методична серія).

УДК 528:629.783(076)

ISSN 1811-492X

© Анисенко О. В., 2017

© ЧНУ ім. Петра Могили, 2017

ЗМІСТ

<i>Практична робота 1.</i> Визначення параметрів основних елементів земного еліпсоїда	5
<i>Практична робота 2.</i> Обчислення довжини дуги меридіана	13
<i>Практична робота 3.</i> Обчислення довжини дуги паралелі.....	18
<i>Практична робота 4.</i> Визначення розмірів та площі знімальної трапеції	21
<i>Практична робота 5.</i> Рішення малого сфероїдичного трикутника за теоремою Лежандра	26
<i>Практична робота 6.</i> Рішення малого сфероїдичного трикутника способом адитаментів	30
<i>Практична робота 7.</i> Рішення великих сфероїдичних трикутників (частина 1)	33
<i>Практична робота 8.</i> Рішення великих сфероїдичних трикутників (частина 2)	39
<i>Практична робота 9.</i> Рішення великих сфероїдичних трикутників (частина 3)	42
<i>Практична робота 10.</i> Визначення астрономо-геодезичних відхилень прямовисних ліній	44
<i>Практична робота 11.</i> Редукування горизонтальних напрямів.....	51
<i>Практична робота 12.</i> Редукування лінійних вимірів.....	55
<i>Практична робота 13.</i> Системи координат і зближення меридіанів у проекції Гауса–Крюгера	59
<i>Практична робота 14.</i> Розрахунок прямокутних координат пункту за геодезичними координатами	68
<i>Практична робота 15.</i> Розрахунок геодезичних координат пункту за прямокутними координатами Гауса–Крюгера	71
<i>Практична робота 16.</i> Перетворення прямокутних координат Гауса–Крюгера з однієї зони в іншу	74

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

<i>Практична робота 17.</i> Розв’язування прямої геодезичної задачі методом Рунге–Кутта–Інгланда	75
ДОДАТКИ	77
УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗЕМНОГО ЕЛІПСОЇДА

Мета роботи: визначити параметри основних елементів різних земних еліпсоїдів: Красовського, WGS-84 та ПЗ-90.

Дано: значення екваторіальної півосі a та полярне стиснення еліпсоїда α (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри/Системи геодезичних параметрів Землі	Красовський	ПЗ-90	WGS-84
екваторіальна піввісь	6378245м	6378137м	6378136м
полярне стиснення еліпсоїда	1:298,3	1:298,25	1:298,257839

Точка поверхні еліпсоїда з широтою B та довготою L :

$B = 47^\circ 10' 00'' + 10' n$; $L = 38^\circ 25' 00''$, де n – номер студента за списком в журналі.

Визначити:

1. Значення параметрів основних елементів еліпсоїда Красовського, WGS-84 і ПЗ-90:

1) значення малої півосі b ;
2) квадрат значення першого ексцентриситету меридіанного еліпсу e^2 ;

3) квадрат значення другого ексцентриситету меридіанного еліпсу e'^2 ;

4) значення полярного радіуса кривизни c .

2. Значення основних першої і другої функція геодезичної широти B :

1) основна перша функція геодезичної широти W ;

2) основна друга функція геодезичної широти V .

3. Значення головних радіусів кривизни:

1) радіусу кривизни меридіана M ;

2) радіус кривизни першого вертикалу N .

Теоретичний матеріал:

Референц-еліпсоїд – це еліпсоїд, що найкраще описує фігуру Землі для певної території (країни) [1]. У різних країнах вчені отримали різні розміри референт-еліпсоїдів (Красовського, 1940 р.; Бесселя, 1941 р.; Кларка I, 1866 р.; Кларка II, 1880 р.; Ейрі, 1880 р.; WGS-84; Деламбра,

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

1800 р.; EUREF, 1980 р.). Параметри, що описують розміри еліпсоїда: велика або екваторіальна піввісь a , мала або полярна піввісь b та геометричне або полярне стиснення α (формула 1).

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (1)$$

На рисунку 1 подано еліпсоїд обертання PEIP1E, EO=OE1 – це велика або екваторіальна піввісь a , PO=OP1 – це мала або полярна піввісь b .

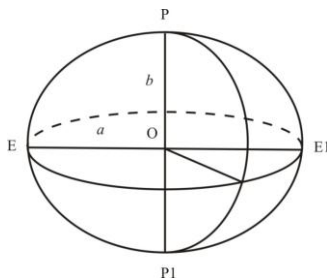


Рис. 1.

З формули 1 значення малої півосі b дорівнює $b = a \cdot (1 - \alpha)$.

Також до параметрів еліпсоїда відносяться квадрат значення першого e^2 та другого e'^2 ексцентриситетів меридіанного еліпсу, полярний радіус кривизни c .

Перший ексцентриситет меридіанного еліпсу розраховується за формулою 2, другий – за формулою 3.

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (2)$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (3)$$

Полярний радіус кривизни c розраховується за формулою 4.

$$c = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2}} = a \cdot \sqrt{1 + e^2} \quad (4)$$

Значення головних радіусів кривизни: радіус кривизни меридіана M розраховується за формулою 5.

$$M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{W^3} = \frac{c}{V^3} \quad (5)$$

де W – перша основна функція геодезичної широти, розраховується за формулою 6,

де B – широта точки.

$$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B} \quad (6)$$

Радіус кривизни першого вертикалу N .

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} = \frac{a}{W} = \frac{c}{V} \quad (7)$$

де V – друга основна функція геодезичної широти, розраховується за формулою 8.

$$V = \sqrt{1 + e'^2 \cos^2 B} \quad (8)$$

При розрахунку W і V необхідно провести контроль: $aW = bV$.

Значення головних радіусів кривизни головних нормальних перетинів виконується з контролем: $N / M = V^2$

Виконання практичної роботи в Microsoft Excel.

В комірки A2:E4 вводимо вхідні дані (рис. 2).

	A	B	C	D	E
1		Значення вихідних параметрів елементів еліпсоїда			
2	1	Параметри	Красовського	WGS-84	ПЗ-90
3	2	<i>Екваторіальна піввісь</i>	6378245	6378137	6378136
4	3	<i>Полярне стиснення</i>	1:298,3	1:298,25	1:298,257839
5	4		0,00335233	0,00335289	0,003352804

Рис. 2.

В комірках C5:E5 робимо розрахунок (рис. 3).

	A	B	C	D	E
1		Значення вихідних параметрів елементів еліпсоїда			
2	1	Параметри	Красовського	WGS-84	ПЗ-90
3	2	<i>Екваторіальна піввісь</i>	6378245	6378137	6378136
4	3	<i>Полярне стиснення</i>	1:298,3	1:298,25	1:298,257839
5	4		=1/298,3	0,00335289	0,003352804

Рис. 3.

В комірках A9:G10 вводимо параметри точки – широту і довготу та переводимо їх до радіанів(рис. 4).

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

	A	B	C	D	E	F	G
1	Значення вихідних параметрів елементів еліпсоїда						
2	1	Параметри	Красовського	WGS-84	ПЗ-90		
3	2	Екваторіальна товщина	6378245	6378137	6378136		
4	3	Поларне стиснення	1:298,3	1:298,25	1:298,257839		
5	4		0,00335233	0,003352892	0,003352804		
6							
7				Перевод в радіани			
8				Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
9	1	Широта	57°20'	0,994837674	0,005814815		1,000652
10	2	Довгота	37°30'	0,645771823	0,008722222		0,654494
11							

Рис. 4.

Комірки D9:D10 розраховуємо завдяки ФУНКЦІЇ «РАДИАНИ» (RADIANS)(рис. 5, 6).

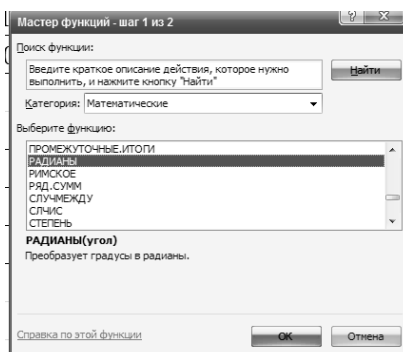


Рис. 5.

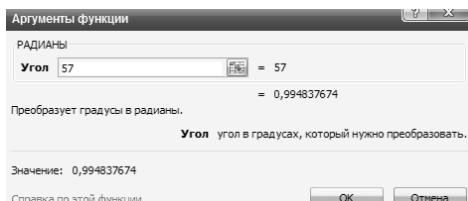


Рис. 6.

Комірки E9:E10 розраховуємо за формулою для переводу значення в хвилинах у радіани (рис. 7):

$$\alpha' = \frac{\pi \cdot \alpha'}{180 \cdot 60} \quad (9)$$

При необхідності переводу секунд у радіани використовуємо формулу 10:

$$\alpha'' = \frac{\pi \cdot \alpha''}{180 \cdot 60 \cdot 60} \quad (10)$$

	A	B	C	D	E	F	G
1	Значення вихідних параметрів елементів еліпсоїда						
2	1	Параметри	Красовського	WGS-84	ПЗ-90		
3	2	Екваторіальна піввісь	6378245	6378137	6378136		
4	3	Полярне стиснення	1:298,3	1:298,25	1:298,257839		
5	4		0,00335233	0,00335289	0,003352804		
6							
7				Перевод в радіани			
8				Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
9	1	Широта	57°20'	0,9948377	=(3,14*20)/(180*60)		
10	2	Довгота	37°30'				

Рис. 7.

В комірках G9:G10 «Всього» сумуємо радіани в градусах, в хвилинах, в секундах (рис. 8).

	A	B	C	D	E	F	G
7				Перевод в радіани			
8				Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
9	1	Широта	57°20'	0,9948377	0,00581481		=D9+E9+F9
10	2	Довгота	37°30'	0,6457718	0,00872222		0,65449
11							

Рис. 8.

В результаті отримуємо рис. 9.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Значення вихідних параметрів елементів еліпсоїда						
2	1	Параметри	Красовського	WGS-84	ПЗ-90		
3	2	Екваторіальна піввісь	6378245	6378137	6378136		
4	3	Полярне стиснення	1:298,3	1:298,25	1:298,257839		
5	4		0,00335233	0,00335289	0,003352804		
6							
7				Перевод в радіани			
8				Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
9	1	Широта	57°20'	0,9948377	0,00581481		1,00065
10	2	Довгота	37°30'	0,6457718	0,00872222		0,65449

Рис. 9.

Переходимо до розрахунків:

1) значення малої півосі b розраховуємо по формулі $b = a \cdot (1 - \alpha)$. Точність розрахунку до 10^{-4} метра. Контроль розрахунку виконати за формулою 11:

2) квадрат значення першого ексцентриситету меридіанного еліпсу

$$b = a \cdot \sqrt{1 - e^2} \quad (11)$$

e^2 . Контроль розрахунку виконати за формулою 12. Для підведення в квадрат в Excel можна користуватися «^». Наприклад: $e^2 - e^{\wedge}2$, $e^3 - e^{\wedge}3$

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

$$e^2 = \frac{e'^2}{1 + e'^2} \quad (12)$$

3) квадрат значення другого ексцентриситету меридіанного еліпсу e'^2 . Контроль розрахунку виконати за формулою 13. Точність розрахунку до 10^{-10} .

$$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2} \quad (13)$$

4) значення полярного радіуса кривизни c розраховуємо по формулі 4 (до 10^{-4} метра). Для розрахунку використовуємо ФУНКЦІЮ «КОРЕНЬ» (SQRT) рис. 10.

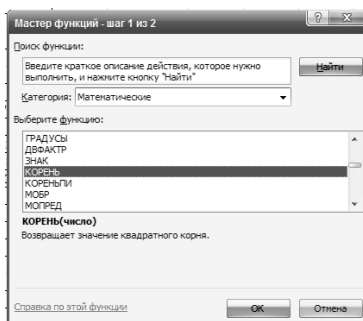


Рис. 10.

В результаті отримаємо розрахунок рис. 11 та рис. 12 формули розрахунку:

	A	B	C	D	E
12	Розрахунок				
13	Значення параметрів основних елементів еліпсоїда Красовського, WGS - 84 і ПЗ-90				
14	№п/п	Формули	Красовського	WGS-84	ПЗ-90
15	1	$b=a \cdot (1-a)$	6356863,0188	6356751,7963	6356751,3617
16	2	$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$	0,0066934216	0,0066945419	0,0066943662
17	3	$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$	0,0067385254	0,0067396608	0,0067394828
18	4	$c = a \cdot \sqrt{1 + e^2}$	6399555,5409	6399450,7406	6399449,1790
19	Контроль				
20	№ п/п		Красовського	WGS-84	ПЗ-90
21	1	$b = a \cdot \sqrt{1 - e^2}$	6356863,0188	6356751,7963	6356751,3617
22	2	$e^2 = \frac{e'^2}{1 + e'^2}$	0,0066934216	0,0066945419	0,0066943662
23	3	$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$	0,0067385254	0,0067396608	0,0067394828
24	4	$a=(a-b)/a$	0,00335233	0,003352892	0,003352804

Рис. 11.

	A	B	C	D	E
12	Розрахунок				
Значення параметрів основних елементів еліпсоїда Красовського, WGS - 84 і ПЗ-90					
13					
14	№п/п	Формули	Красовського	WGS-84	ПЗ-90
15	1	$b=a \cdot (1-\alpha)$	=C3*(1-C5)	=D3*(1-D5)	=E3*(1-E5)
16	2	$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$	=(C3^2-SC15^2)/C3^2	=(D3^2-D15^2)/D3^2	=(E3^2-E15^2)/E3^2
17	3	$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$	=(C3^2-C15^2)/C15^2	=(D3^2-D15^2)/D15^2	=(E3^2-E15^2)/E15^2
18	4	$c = a \cdot \sqrt{1 + e^2}$	=C3*КОРЕНЬ(1+C16)	=D3*КОРЕНЬ(1+D16)	=E3*КОРЕНЬ(1+E16)
19	Контроль				
20	№ п/п		Красовського	WGS-84	ПЗ-90
21	1	$b = a \cdot \sqrt{1 - e^2}$	=C3*КОРЕНЬ(1-C16)	=D3*КОРЕНЬ(1-D16)	=E3*КОРЕНЬ(1-E16)
22	2	$e^2 = \frac{1 - e'^2}{1 + e'^2}$	=C17/(1+C17)	=D17/(1+D17)	=E17/(1+E17)
23	3	$e'^2 = \frac{e^2}{1 - e^2}$	=C16/(1-C22)	=D16/(1-D22)	=E16/(1-E22)
24	4	$\alpha=(a-b)/a$	=(C3-C21)/C3	=(D3-D21)/D3	=(E3-E21)/E3

Рис. 12.

Значення головних радіусів кривизни:

- 1) радіусу кривизни меридіана M (рис. 13, 14);
- 2) радіус кривизни першого вертикалу N (рис. 13, 14).

	A	B	C	D	E
25	Значення основних першої і другої функція геодезичної широти В				
26	1	$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$	0,997625479	0,997625081	0,997625143
27	2	$V = \sqrt{1 + e'^2 \cos^2 B}$	1,000981098	1,000981263	1,000981237
28	Контроль				
29	aW=bV				
30	1	aW	6363099,722	6362989,441	6362988,841
31	2	bV	6363099,722	6362989,441	6362988,841
32	Значення головних радіусів кривизни				
33	1	$M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{W^3}$	6380899,613	6380792,006	6380790,937
34	2	$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$	6393426,326	6393320,619	6393319,217
35	Контроль				
36	N / M = V^2				
37	1	N/M	1,001963158	1,001963489	1,001963437
38	2	V^2	1,001963158	1,001963489	1,001963437

Рис. 13.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

F49				
A	B	C	D	E
Значення основних першої і другої функції геодезичної широти B				
25				
26	$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$	=КОРЕНЬ(1-C16*SIN(G9)^2)	=КОРЕНЬ(1-D16*SIN(G9)^2)	=КОРЕНЬ(1-E16*SIN(G9)^2)
27	$V = \sqrt{1 + e^2 \cos^2 B}$	=КОРЕНЬ(1+C17*COS(G9)^2)	=КОРЕНЬ(1+D17*COS(G9)^2)	=КОРЕНЬ(1+E17*COS(G9)^2)
Контроль				
aW=bV				
29				
30	aW	=C3*C26	=D3*D26	=E3*E26
31	bV	=C15*C27	=D15*D27	=E15*E27
Значення головних радіусів кривизни				
32				
33	$M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{W^3}$	=C3*(1-C16)/C26^3	=D3*(1-D16)/D26^3	=E3*(1-E16)/E26^3
34	$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}}$	=C3/КОРЕНЬ(1-C22*SIN(G9))	=D3/КОРЕНЬ(1-D22*SIN(G9))	=E3/КОРЕНЬ(1-E22*SIN(G9))
Контроль				
N/M = V^2				
35				
37	N/M	=C34/C33	=D34/D33	=E34/E33
38	V^2	=C27^2	=D27^2	=E27^2
39				

Рис. 14.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.
3. Староверов В. С. Вища геодезія : навч. посібник. – К. : ІЗМК, 1996. – 224 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Які основні параметри земного еліпсоїда існують?
2. За якими формулами визначають співвідношення між ними?
3. Що таке основна перша і друга функція геодезичної широти?
4. За якими формулами виконується контроль розрахунків?
5. Пояснити, що таке радіус кривизни меридіана?
6. Пояснити, що таке радіус кривизни першого вертикалу?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2.

ОБЧИСЛЕННЯ ДОВЖИНИ ДУГИ МЕРИДІАНА

Мета роботи: визначити довжину дуги меридіана використовуючи спосіб Сімпсона та виконати перевірку.

Дано: в таблиці 2 надано вхідні дані для розрахунку.

Таблиця 2

№ п/п	Показники	Значення
1	Широта точки В	$B = 45^{\circ} 30' 17,221'' + 10'n$
2	Широта точки В1	$B1 = 49^{\circ} 29' 58,938'' + 10'n$
3	Екваторіальна піввісь	6378245м
4	Перший ексцентриситет меридіанного еліпсу e^2	0,0066934216

де n – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

РЕІРІЕ – меридіанний еліпс (рис. 15). А – точка на еліпсі з широтою В. На нескінченно малій відстані від неї знаходиться друга точка А1 з широтою В1. Різниця між широтами точок дорівнює $dB = B - B1$. Щоб визначити довжину дуги меридіана необхідно про інтегрувати dS , при чому представивши dS , як дугу кола з радіусом М.

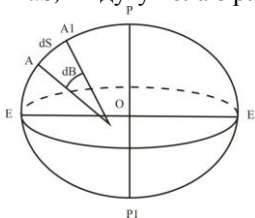


Рис. 15.

Тобто довжина дуги меридіана розраховується за формулою:

$$S = \int_B^{B1} M dB \quad (14)$$

Для розв'язування інтегралу можна розкласти MdB в степений ряд і поелементно виконати інтегрування (формула 15). При чому

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

число членів ряду встановлюється в залежності від точності визначення довжини дуги меридіана.

Загальна формула для визначення дуги меридіана:

$$S = a \cdot (1 - e^2) \cdot (A \cdot (B_1 - B) - \frac{B}{2} \cdot (\sin 2B_1 - \sin 2B) + \frac{C}{4} (\sin 4B_1 - \sin 4B) - \dots), \quad (15)$$

де A, B, C – сталі коефіцієнти.

Для еліпсоїда Красовського:

$$A = 1,0050517739$$

$$B = 0,0050623764$$

$$C = 0,00001062451$$

Другий спосіб визначення довжини дуги меридіана – спосіб Сімсона (формула 16):

$$S = \frac{(B_1 - B)''}{6\rho''} \cdot (M + 4M_{cp} + M_1) \quad (16)$$

де M, M_1, M_{cp} – значення радіусів кривизни меридіана в точках з широтами B, B_1, B_{cp} . B_{cp} розраховується по формулі 17:

$$B_{cp} = \frac{B_1 + B}{2} \quad (17)$$

$$\frac{1}{6\rho''} = 8080228 \cdot 10^{-13}$$

Радіус кривизни меридіана в точці B_i розраховується за формулою 18:

$$M_i = a \cdot (1 - e^2) \cdot \frac{1 + 0.25e^2 \sin^2 B_i}{1 - 1.25e^2 \sin^2 B_i} \quad (18)$$

Контроль розрахунків довжини дуги меридіана виконується наступним чином: представимо довжину дуги S сумою дуг $X_1 + X_2$, які розраховуємо по формулах 19:

$$X_1 = \frac{(B_{cp} - B)}{6\rho''} (M_{cp} + 4M_{cp}'' + M) \quad (19)$$

$$X_2 = \frac{(B_1 - B_{cp})}{6\rho''} (M_1 + 4M_{cp}' + M_{cp})$$

де M_{cp}' – значення радіуса кривизни меридіана в точці з широтою

$B'_{cp} = \frac{B_1 + B_{cp}}{2}$; M''_{cp} – значення радіуса кривизни меридіана в точці з широтою

$$B''_{cp} = \frac{B_{cp} + B}{2}$$

Переходимо до розрахунків:

1) Вводимо вхідні дані в діапазон комірок A3:C6 (рис. 16).

	A	B	C
1			
2	Вхідні данні		
3	1	B	45°30'17,221"
4	2	B1	49°29'58,938"
5	3	a	6378245
6	4	e ²	0,006693422

Рис. 16.

2) Виконуємо перевід в радіани широт точок в діапазоні D2:G4 (пояснення до переводу у практичній № 1) (рис. 17).

D	E	F	G
Перевод в радіани			
Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
0,785398163	0,008722222	8,3E-05	0,794203833
0,855211333	0,008431481	0,00029	0,86392841

Рис. 17.

3) Розрахунок по формулі 16 (рис. 18, 19).

	A	B	C	D	E	F	G
7							
8	Обчислення довжини дуги меридіану за формулою						
9		Познаення дій	Результати				
10	1	$a(1 - e^2)$	6335552,717147				
11	2	$1 + 0.25e^2 \sin^2 B_1$	1,00096755				
12	3	$1 - 1.25e^2 \sin^2 B_1$	0,99516226				
13	4	M	6372511,187				
14	5	$1 + 0.25e^2 \sin^2 B$	1,00085141				
15	6	$1 - 1.25e^2 \sin^2 B$	0,99574294				
16	7	$M1$	6368056,077776	Перевод в радіани			
17	8	B_{cp}	47°30'08,08"	0,820304748	0,008722222	3,9E-05	0,829066124
18	9	M_{cp}	6370283,632303				
19	10	$\%p$	0,0000008080228				
20	11	$(B1-B)''$	14381,717				
21	12	S	444165,04				

Рис. 18.

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

	A	B	C	D	E	F	G
7							
8	Об'						
9		Познаєння дій	Результати				
10	1	$a(1 - e^2)$	$=C5*(1-C6)$				
11	2	$1 + 0.25e^2 \sin^2 B_1$	$=1+0,25*C6*SIN(G4)^2$				
12	3	$1 - 1.25e^2 \sin^2 B_1$	$=1-1,25*C6*SIN(G4)^2$				
13	4	M	$=C10*(C11/C12)$				
14	5	$1 + 0.25e^2 \sin^2 B$	$=1+0,25*C6*SIN(G3)^2$				
15	6	$1 - 1.25e^2 \sin^2 B$	$=1-1,25*C6*SIN(G3)^2$				
16	7	MI	$=C10*(C14/C15)$				
17	8	B_{cp}	$47^{\circ}30'08,08''$	$=РАДИАНЫ(47)$	$=(3,14*30)/(180*60)$	$=(3,14*8,08)/(180*60*60)$	$=D17+E17+F17$
18	9	M_{cp}	$=(C16+C13)/2$				
19	10	ρ	$=8080228*10^{-13}$				
20	11	$(B_1 - B)''$	14381,717				
21	12	S	$=C20*C19*(C13+C16+4*C18)$				
22							

Рис. 20.

4) Контроль розрахунку виконується за формулами 20 у комірках A24:C34 (рис. 20, 21).

	A	B	C
22			
23		Контроль	
24	1	B'_{cp}	0,846497267
25	2	B''_{cp}	0,811634978
26	3	M''_{cp}	6369173,791
27	4	M'_{cp}	6371402,702
28	5	$M_{cp} + 4M''_{cp} + M$	38219489,98
29	6	$M_1 + 4M'_{cp} + M_{cp}$	38223950,52
30	7	$\frac{(B_1 - B_{cp})}{6\rho''}$	0,005810377
31	8	$\frac{(B_{cp} - B)}{6\rho''}$	0,005810378
32	9	X_1	222069,6847
33	10	X_2	222095,5712
34	11	S	444165,26
35			

Рис. 20.

	А	В	С
23		Контроль	
24	1	B'_{cp}	$=(G4+G17)/2$
25	2	B''_{cp}	$=(G17+G3)/2$
26	3	M'_{cp}	$=C10*(1+0,25*C6*SIN(C25)^2)/(1-1,25*C6*SIN(C25)^2)$
27	4	M''_{cp}	$=C10*(1+0,25*C6*SIN(C24)^2)/(1-1,25*C6*SIN(C24)^2)$
28	5	$M_{cp} + 4M'_{cp} + M$	$=C18+4*C26+C13$
29	6	$M_1 + 4M'_{cp} + M_{cp}$	$=C16+4*C27+C18$
30	7	$\frac{(B_1 - B_{cp})}{6\rho''}$	$=7190,858*C19$
31	8	$\frac{(B_{cp} - B)}{6\rho''}$	$=7190,859*C19$
32	9	X1	$=C31*C28$
33	10	X2	$=C30*C29$
34	11	S	$=C32+C33$
35			

Рис. 21.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : учебно-пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глузов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Наведіть загальну формулу для розрахунку довжини дуги меридіану та поясніть всі її складові?
2. Які є способи розрахунку довжини дуги меридіану?
3. Як виконується контроль розрахунків?
4. Контроль обчислень поясніть на малюнку.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 3.

ОБЧИСЛЕННЯ ДОВЖИНИ ДУГИ ПАРАЛЕЛІ

Мета роботи: визначити довжину дуги паралеліта виконати контроль обчислень.

Дано: в таблиці 3 надано вхідні дані для розрахунку.

Таблиця 3

№ п/п	Показники	Значення
1	Широта точки B	$B = 45^\circ 30' 17,221'' + 10''n$
2	Різниця довгот l	$l = 0^\circ 30' 46,88''$
3	Екваторіальна піввісь	6378245м
4	Перший ексцентриситет меридіанного еліпсу e^2	0,0066934216

де n – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

Довжина дуги паралелі розраховується по формулі 20:

$$S = N \cdot \frac{l''}{\rho''} \cos B \quad (20)$$

де $l'' = L_1 - L$; N – радіус кривизни першого радикалу визначається за формулою 21:

$$N = a \cdot \frac{1 - 0.25e^2 \sin^2 B}{1 - 0.75e^2 \sin^2 B} \quad (21)$$

Контроль обчислень довжини дуги паралелі виконується за формулою 22, визначаючи дугу паралелі як різницю довжин дуг $Y1$, Y .

$$Y1 = \frac{(l + 1800)''}{\rho''} N \cos B \quad (22)$$

$$Y = \frac{1800''}{\rho''} N \cos B$$

Переходимо до розрахунків:

1) Вводимо вхідні дані в діапазон комірок A2:C6 та робимо перевід у радіани широти точки (рис. 22).

	A	B	C	D	E	F	G
1				Перевод в радіани			
2	Вхідні данні			Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
3	1	<i>B</i>	45°30'17,221"	0,7854	0,00872	8,34474E-05	0,7942
4	2	<i>l</i>	0°30'46,88"				
5	3	<i>a</i>	6378245				
6	4	<i>e</i> ²	0,006693422				

Рис. 22.

$\rho = 206265''$ – це число кутових одиниць (градусів, хвилин чи секунд) в одному радіані;

2) виконуємо розрахунок довжини дуги паралелі за формулою 20 (рис. 25, 26). Під час визначення радіусу кривизни першого радикалу по формулі 21 використовуємо ФУНКЦІЮ «SIN» (рис. 23), а при визначенні по формулі 20 використовуємо ФУНКЦІЮ «COS» (рис. 24).

$0.25e^2 \sin^2 B$	0,000851412		
$0.75e^2 \sin^2 B$	=0,75*C6*sin		
<i>N</i>		SIN	Возвращает синус угла

Рис. 23.

0,000851412			
0,002554236			
6389133,841			
10234080			
=C11*(C12/206265)*co			
		COS	Возвращает косинус угла

Рис. 24.

	A	B	C
7			
8	Розрахунок		
9	1	$0.25e^2 \sin^2 B$	0,000851412
10	2	$0.75e^2 \sin^2 B$	0,002554236
11	3	<i>N</i>	6389133,841
12	4	<i>l</i> ''	1846,88
13	5	1/ ρ	4,84814E-06
14	6	<i>S</i>	40094,28026
15	Контроль		
16	1	γ_1	79170,83341
17	2	<i>Y</i>	39076,51492
18	3	<i>S</i>	40094,31849

Рис. 25.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

	A	B	C
7			
8	Розрахунок		
9	1	$0.25e^2 \sin^2 B$	$=0,25 * C6 * \text{SIN}(G3)^2$
10	2	$0.75e^2 \sin^2 B$	$=0,75 * C6 * \text{SIN}(G3)^2$
11	3	N	$=C5 * (1 - C9) / (1 - C10)$
12	4	l''	$=30 * 60 + 46,88$
13	5	$1/\rho$	$=4848137 * 10^{-12}$
14	6	S	$=C12 * C13 * C11 * \text{COS}(G3)$
15	Контроль		
16	1	$Y1$	$=(C12 + 1800) * C13 * C11 * \text{COS}(G3)$
17	2	Y	$=(1800 / 206265) * C11 * \text{COS}(G3)$
18	3	S	$=C16 - C17$

Рис. 26.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas)).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глузов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Наведіть загальну формулу для розрахунку довжини дуги паралелі та поясніть всі її складові?
2. Як виконується контроль розрахунків?
3. Надайте визначення радіусу кривизни першого радикалу.
4. По якій формулі розраховуються радіус кривизни першого радикалу?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 4.

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ТА ПЛОЩІ ЗНІМАЛЬНОЇ ТРАПЕЦІЇ

Мета роботи: по геодезичним координатам точки визначити, в якій знімальній трапеції вона знаходиться, координати цієї трапеції. Розрахувати її розмір та площу.

Дано: в таблиці 4 надано вхідні дані для розрахунку.

Таблиця 4

№ п/п	Показники	Значення
1	<i>Масштаб</i>	1:50000
	<i>Широта точки</i>	$B = 45^{\circ} 30' 17,221'' + 5'n$
2	<i>Довгота точки</i>	$L = 22^{\circ} 11' 17,221'' + 20'n$
3	<i>Екваторіальна піввісь</i>	6378245м
4	<i>Перший ексцентриситет меридіанного еліпсу e^2</i>	0,0066934216

де n – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

На рис. 27 зображено знімальну трапецію ABDC зі сторонами $a1$, $a2$, d , що розраховуються за формулами 23:

$$\left. \begin{aligned} a1 &= \frac{100}{m} \cdot \frac{N1}{\rho''} \cdot \cos B1 \cdot l'' \\ a2 &= \frac{100}{m} \cdot \frac{N2}{\rho''} \cdot \cos B2 \cdot l'' \\ c &= \frac{100}{m} \cdot \frac{Mm}{\rho''} \cdot \Delta B'' \\ d &= \sqrt{a1 \cdot a2 + c^2} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

де m – знаменник масштабу зйомки, $N1$, $N2$ – радіуси кривизни першого вертикала, Mm – радіус кривизни меридіана в точці з широтою $Bm = (B1 + B2)/2$, $\Delta B'' = B2 - B1$.

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

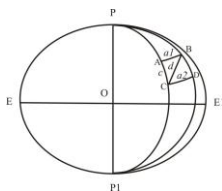


Рис. 27.

Площа знімальної трапеції розраховується за формулою 24:

$$S = b^2 \cdot \frac{(L2 - L1)''}{\rho''} \left[\sin B2 - \sin B1 + \frac{2}{3} \cdot e^2 \cdot (\sin^3 B2 - \sin^3 B1) + \frac{3}{5} \cdot e^4 \times (\sin^5 B2 - \sin^5 B1) + \frac{4}{7} \cdot e^6 \cdot (\sin^7 B2 - \sin^7 B1) \right] \quad (24)$$

Переходимо до розрахунків:

1) За геодезичними координатами точки, розташованої на поверхні земного еліпсоїду, визначаємо її приналежність листу карти масштабу 1:50000 та геодезичні координати вершин цієї трапеції (рис. 28). Креслимо схему розграфки для приклад, для точки з координатами широта – 49° 39' 01", довгота – 29° 11' 11".

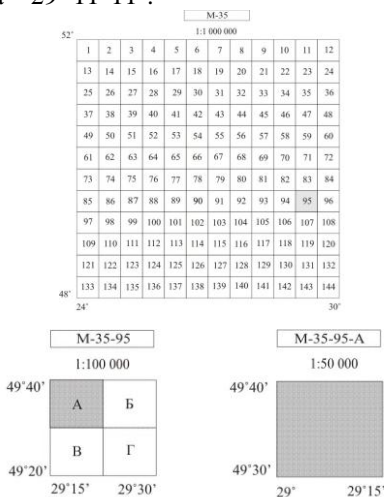


Рис. 28.

По схемі, наведеній на рис. 28 визначили вершини трапеції.

B_1	$49^\circ 30'$
B_2	$49^\circ 40'$
L_1	$29^\circ 00'$
L_2	$29^\circ 15'$

2) Вводимо вхідні дані в діапазон комірок A2:C6. У комірки C10:B13 вводимо значення кутів вершин трапеції та переводимо в радіани (рис. 29).

	A	B	C	D	E
1	Вхідні дані				
2	1	B	$49^\circ 39'01''$		
3	2	L	$29^\circ 11'11''$		
4	3	a	6378245		
5	4	e^1	0.006693422		
6	5	b	6356863		
7	Геодезні координати сторін трапеції				
8	Перевод в радіани				
9			Градуси	Хвилини	Всього
10	$B1$	$49^\circ 30'$	0.855211393	0.008722	0.863934
11	$B2$	$49^\circ 40'$	0.855211393	0.01163	0.866841
12	$L1$	$29^\circ 00'$	0.506145483		0.506145
13	$L2$	$29^\circ 15'$	0.506145483	0.004361	0.510507

Рис. 29.

3) По формулі 23 виконується розрахунок сторін та діагоналі трапеції (рис. 30, 31, 32).

	A	B	C
15	Обчислення довжин сторін трапеції		
16	1	$0.25e^2 \sin^2 B1$	0.000967556
17	2	$0.25e^2 \sin^2 B2$	0.000972359
18	3	$0.75e^2 \sin^2 B1$	0.002902667
19	4	$0.75e^2 \sin^2 B2$	0.002917076
20	5	$N1$	6390623.544
21	6	$N2$	6390685.172
22	7	$\cos B1$	0.649451412
23	8	$\cos B2$	0.647237869
24	9	l''	900
25	10	l/ρ	0.0000048481370
26	11	$100l''/m$	1.8

Рис. 30.

27	12	$a1$	36.21906957
28	13	$a2$	36.09597119
29	14	$\Delta B''$	600
30	15	$100/m$	0.002
31	16	Bm	89250
32	17	Mm	6349896.613
33	18	Mm/ρ''	30.78516871
34	19	c	36.94220246
35	16	d	51.69225101

Рис. 31.

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

	A	B	C
14			
15	Обчислення довжин сторін трапеції		
16	1	$0.25e^2 \sin^2 B1$	$=0.25 * C5 * \text{SIN}(E10)^2$
17	2	$0.25e^2 \sin^2 B2$	$=0.25 * C5 * \text{SIN}(E11)^2$
18	3	$0.75e^2 \sin^2 B1$	$=0.75 * C5 * \text{SIN}(E10)^2$
19	4	$0.75e^2 \sin^2 B2$	$=0.75 * C5 * \text{SIN}(E11)^2$
20	5	$N1$	$=C4 * (1 - C16) / (1 - C18)$
21	6	$N2$	$=C4 * (1 - C17) / (1 - C19)$
22	7	$\cos B1$	$=\text{COS}(E10)$
23	8	$\cos B2$	$=\text{COS}(E11)$
24	9	l''	$=15 * 60$
25	10	$1/\rho$	$=4848137 * 10^{-12}$
26	11	$100l''/m$	$=(100 * C24) / 50000$
27	12	$a1$	$=C26 * C20 * C25 * C22$
28	13	$a2$	$=C26 * C21 * C25 * C23$
29	14	$\Delta B''$	$=10 * 60$
30	15	$100/m$	$=100 / 50000$
31	16	Bm	$=(49 * 60 * 60 + 35 * 60) / 2$
32	17	Mm	$=C4 * (1 - C5) * ((1 + 0.25 * C5$
33	18	Mm/ρ''	$=C32 * C25$
34	19	c	$=100 / 50000 * C33 * C29$
35	16	d	$=\text{SQRT}(C27 * C28 + C34^2)$

Рис. 32.

4) По формулі 24 виконується розрахунок площі знімальної трапеції (рис. 33, 34).

	A	B	C	D
36	Обчислення площі знімальної трапеції			
37	1	b^2	$4.04097E+13$	
38	2	$L2-L1$	900	
39	3	$\sin^3 B2 - \sin^3 B1$	0.003277912	
40	4	$\sin^5 B2 - \sin^5 B1$	0.003166728	
41	5	$\sin^7 B2 - \sin^7 B1$	0.002569831	
42	6	S	717689005.3	m^2
43	7	S	717.6890053	$км^2$

Рис. 33.

36	Обчислення площі знімальної трапеції		
37	1	b^2	$=C6^2$
38	2	$L2-L1$	$=15 * 60$
39	3	$\sin^3 B2 - \sin^3 B1$	$=\text{SIN}(E11)^3 - \text{SIN}(E10)^3$
40	4	$\sin^5 B2 - \sin^5 B1$	$=\text{SIN}(E11)^5 - \text{SIN}(E10)^5$
41	5	$\sin^7 B2 - \sin^7 B1$	$=\text{SIN}(E11)^7 - \text{SIN}(E10)^7$
42	6	S	$=C37 * C38 * C25 * (\text{SIN}(E11$
43	7	S	$=C42 / 1000000$

Рис. 34.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Горлачук В. В. Геодезія : навч. посіб. / В. В. Горлачук, О. В. Печанська. – Миколаїв : Вид-во Південнослов'янського ін-ту КСУ, 2008. – 123 с. – Бібліогр.: с. 122.
2. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
3. Островський А. Л. Геодезія : підруч. для вищ. навч. закл. / О. І. Мороз, В. Л. Тарнавський ; за заг. ред. А. Л. Островського. – Львів : Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2008. – Ч. 2. – 561 с.
4. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Що таке номенклатура карти?
2. Що таке розграфка карти?
3. Яка карти лежить в основі номенклатури карт всіх масштабів?
4. Назвати формули та їх складові для розрахунку сторін трапеції?
5. Назвати формулу та її складові для розрахунку площі знімальної трапеції?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5.

РІШЕННЯ МАЛОГО СФЕРОІДИЧНОГО ТРИКУТНИКА ЗА ТЕОРЕМОЮ ЛЕЖАНДРА

Мета роботи: по кутам сфероїдичного трикутника і одної сторони, знайти дві невідомі сторони за теоремою Лежандра.

Дано: в таблиці 5 надано вхідні дані для розрахунку.

Таблиця 5

№ п/п	Показники	Значення
1	Кут 1	$A = 48^{\circ} 30' 20'' + 5''n$
2	Кут 2	$B = 65^{\circ} 30' 18'' + 5''n$
3	Кут 3	$C = 65^{\circ} 57' 01'' + 5''n$
4	Середня широта B_m	$48^{\circ} 30'$
5	Сторона трикутника	45000м
6	Екваторіальна піввісь	6378245м
7	Перший ексцентриситет меридіанного еліпсу e^2	0,0066934216

де n – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

Сфероїдичний трикутник ABC – це трикутник, який створено геодезичними лініями на сфероїді (рис. 35). Рішення трикутника це означає знайти всі його сторони та кути, при чому деякі повинні бути відомими.

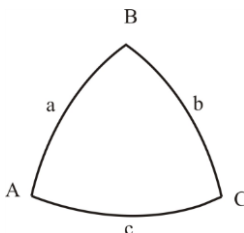


Рис. 35.

Теорему запропоновано в 1787 році французьким математиком Адрієн Марі Лежандром, сутність якої в наступному:

1) Кожний з кутів сферичного трикутника зменшують на $1/3$ сферичного надлишка ε (формула 25, 26, 27).

$$A1 = A - \frac{\varepsilon}{3} \quad (25)$$

$$B1 = B - \frac{\varepsilon}{3} \quad (26)$$

$$C1 = C - \frac{\varepsilon}{3} \quad (27)$$

ε розраховується за формулою 28, в результаті отримують кути плоского трикутника $A1, B1, C1$.

$$\varepsilon = \frac{\rho''}{2R_m^2} \frac{b^2 \sin A \sin C}{\sin B} \quad (28)$$

Середній радіус кривизни $R_m = \sqrt{MN}$.

N – радіус кривизни першого радикалу визначається за формулою 21. Радіус кривизни меридіана M розраховується за формулою 18.

2) По теоремі синусів рiшають даний трикутник як плоский (сторони трикутника залишаються без змін) за формулами:

$$a = K \sin A1, b = K \sin B1, c = K \sin C1 \quad (29)$$

$$K = \frac{a}{\sin A1} = \frac{b}{\sin B1} = \frac{c}{\sin C1} \quad (30)$$

Переходимо до розрахунків:

1) Вводимо вхідні дані: кути трикутника A, B, C , середню широту трикутника B_m та відому сторону b . Виконуємо перерахунок в радіани для подальшого розрахунку рис. 36.

	A	B	C	D	E	F	G
1				Перевод в радіани			
2	Вхідні дані			Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
3	1	A	48°30'20"	0,83775804	0,0087222	9,69136E-05	0,846577177
4	2	B	65°30'18"	1,13446401	0,0087222	8,72222E-05	1,143273458
5	3	C	65°57'01"	1,13446401	0,0165722	4,84568E-06	1,151041082
6	4	B_m	48°30'	0,83775804	0,0087222		0,846480263
7	5	b	45				

Рис. 36.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

Довжина сторони трикутника для визначення сферичного надлишка записують ся в кілометрах

2) Обчислюємо сферичний надлишок за формулою 28 (рис. 37).

9	Обчислення сферичного надлишка		
10	1	a	6378245
11	2	e^2	0,006693422
12	3	$a(1 - e^2)$	6335552,717
13	4	N	6390252,509
14	5	M	6388970,491
15	6	$R_m = \sqrt{MN}$	6389611,468
16	7	$\frac{\rho''}{2R_m^2}$	2,52608E-09
17	8	$\frac{b^2 \sin A \sin C}{\sin B}$	1522,081634
18	9	ϵ	3,8449E-06

Рис. 37.

3) Обчислюємо сторони трикутника a, c.

Рішення трикутника												
Верш.	Виміряні сферичні кути	$-\frac{w}{3}$	Виправлені сферичні кути	$-\frac{\epsilon}{3}$	Виправлені плоскі кути	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього радіан	Синуси кутів	Довжини сторін	
21	A	48°30'20"	0°0'48.28"	48°31'08.28"	0°0'01.28"	48°31'07"	0,837758041	0,009012963	3,392E-05	0,846804924	0,749167877	37,0431
22	B	65°30'18"	0°0'48.28"	65°31'06.28"	0°0'01.28"	65°31'05"	1,134464014	0,009012963	2,4228E-05	1,143501205	0,910090008	45
23	C	65°57'01"	0°0'48.28"	65°57'49.28"	0°0'01.28"	65°57'48"	1,134464014	0,016572222	0,00023259	1,151268829	0,913281506	45,1114
24	Σ	179°57'39"		180°00'03.84"		180°00'00"						
25	ϵ	0°00'3.84"										
26	W1	-0°02'24.84"										
27												
28												

Рис. 38.

Рішення трикутника												
Верш.	Виміряні сферичні кути	$-\frac{w}{3}$	Виправлені сферичні кути	$-\frac{\epsilon}{3}$	Виправлені плоскі кути	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього радіан	Синуси кутів	Довжини сторін	
21	A	48°30'20"	0°0'48.28"	48°31'08.28"	0°0'01.28"	48°31'07"	=РАДИАН(48)	=(3,14*31)/(180*60)	=(3,14*7)/(180*60*60)	=СУММ(G22;I22)	=SIN(J22)	=SIN(J22)^*(C7/SIN(K23))
22	B	65°30'18"	0°0'48.28"	65°31'06.28"	0°0'01.28"	65°31'05"	=РАДИАН(65)	=(3,14*31)/(180*60)	=(3,14*5)/(180*60*60)	=СУММ(G23;I23)	=SIN(J23)	=SIN(J23)^*(L22/SIN(J23))
23	C	65°57'01"	0°0'48.28"	65°57'49.28"	0°0'01.28"	65°57'48"	=РАДИАН(65)	=(3,14*57)/(180*60)	=(3,14*48)/(180*60*60)	=СУММ(G24;I24)	=SIN(J24)	=SIN(K24)^*(45/SIN(K23))
24	Σ	179°57'39"		180°00'03.84"		180°00'00"						
25	ϵ	0°00'3.84"										
26	W1	-0°02'24.84"										
27												
28												

Рис. 39.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Справочник геодезиста (в двух книгах) / Большаков В. Д., Левчук Г. П., Багратуни Г. В. и др. ; под ред. Большакова В.Д., Левчука Г. П. – Изд. 2, перераб. и доп. – М. : «Недра», 1975. – 1056 с.
2. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
3. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.
4. Островський А. Л. Геодезія. Частина перша. Топографія : навч. посібник / А. Л. Островський, О. І. Мороз, З. Р. Тартачинський, І. Ф. Гарасимчук. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011. – 440 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Надати визначення «сфероїдичний трикутник».
2. Що означає рішення трикутника?
3. Чим відрізняється сфероїдичний трикутник від плоского?
4. Назвати етапи рішення малого сфероїдичного трикутника за теоремою Лежандра.
5. Пояснити сутність теореми Лежандра.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 6.

РІШЕННЯ МАЛОГО СФЕРОІДИЧНОГО ТРИКУТНИКА СПОСОБОМ АДИТАМЕНТІВ

Мета роботи: по кутам сфероїдичного трикутника і однієї сторони знайти дві невідомі сторони способом адитаментів.

Дано: в таблиці 6 надано вхідні дані для розрахунку.

Таблиця 6

№ п/п	Показники	Значення
1	Кут 1	$A = 48^{\circ} 30' 20'' + 5''n$
2	Кут 2	$B = 65^{\circ} 30' 18'' + 5''n$
3	Кут 3	$C = 65^{\circ} 57' 01'' + 5''n$
4	Середня B_m	$48^{\circ} 30'$
5	Сторона трикутника	45000м
6	Екваторіальна піввісь	6378245м
7	Перший ексцентриситет меридіанного еліпсу e^2	0,0066934216

де n – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

1) З відомої сторони b віднімають адитамент A_b (формула 31) – отримують сторону плоского трикутника b' .

$$b' = b - A_b = b - \frac{b^3}{6R^2} \quad (31)$$

$$A_c = \frac{c'^3}{6R^2} \quad (32)$$

$$A_a = \frac{a'^3}{6R^2} \quad (33)$$

R – середній радіус кривизни еліпсоїда для району розташування трикутника

$$R = \sqrt{MN} \quad (34)$$

2) По теоремі синусів знаходять сторони плоского трикутника a' , c' (формула 35, 36) по одній відомій стороні b' (пункт 1) та кутам сфероїдичного трикутника.

$$a' = \frac{b' \sin A}{\sin B} \quad (35)$$

$$c' = \frac{a' \sin C}{\sin A} \quad (36)$$

3) Знаходять сторони сферичного трикутника шляхом віднімання від отриманих сторін (пункт 2) адитаментів A_a, A_c

$$a = a' + A_a \quad (37)$$

$$c = c' + A_c \quad (38)$$

Переходимо до розрахунків:

1) Вводимо вхідні дані: кути трикутника А, В, С, та відому сторону b . Виконуємо перерахунок в радіани для подальшого розрахунку рис. 40.

	A	B	C	D	E	F	G
1				Перевод в радіани			
2	Вхідні дані			Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
3	1	A	48°30'20"	0,837758041	0,008722222	9,69136E-05	0,846577177
4	2	B	65°30'18"	1,134464014	0,008722222	8,72222E-05	1,143273458
5	3	C	65°57'01"	1,134464014	0,016572222	4,84568E-06	1,151041082
6	4	B_m	48°30'	0,837758041	0,008722222		0,846480263
7	5	b	45				

Рис. 40.

2) Обчислюємо адитаменти та вирішуємо трикутник рис. 41, 42.

	A	B	C	D	E	F	G	H
8								
9	Обчислення адитаментів			Перевод в радіани				
10	1	k	4,09E-09	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього	
11	2	A_b	0,000372701	0,837758041	0,009012963	3,91531E-05	0,846810157	
12	3	A_a	0,00020783	1,134464014	0,009012963	3,04309E-05	1,143507408	
13	4	A_c	0,000376629	1,134464014	0,016572222	0,000238795	1,151275031	
14	Рішення трикутників							
15	Верш.	Вимірні сферичні кути	$\frac{w}{3}$	Виправлені сферичні кути	Синуси виправлених сферичних кутів	Сторони плоского трикутника	Адитаменти	Довжини сторін
16	A	48°30'20"	0°0'48.28"	48°31'08.28"	0,749171344	37,03917452	0,00021	37,0394
17	B	65°30'18"	0°0'48.28"	65°31'06.28"	0,910092578	44,9996273	0,00037	45,0000
18	C	65°57'01"	0°0'48.28"	65°57'49.28"	0,913284032	45,15752783	0,00038	45,1579
19	$\Sigma 1$	179°57'39"		180°00'03.84"				
20	ϵ	0°00'3.84"						
21	W1	-0°02'24.84"						

Рис. 41.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

8							
9	Обчислення адитаментів			Перевод в радіани			
10	1	k	=409*10 ⁻¹¹	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
11	2	A_b	=C10*C7^3	=РАДИАНЫ(48)	=(3,14*31)/(180*60)	=(3,14*8,08)/(180*60*60)	=E11+F11+G11
12	3	A_c	=C10*F1^3	=РАДИАНЫ(65)	=(3,14*31)/(180*60)	=(3,14*6,28)/(180*60*60)	=E12+F12+G12
13	4	A_c	=C10*F18^3	=РАДИАНЫ(65)	=(3,14*57)/(180*60)	=(3,14*49,28)/(180*60*60)	=E13+F13+G13
14	Рішення трикутника						
15	Верш.	Виміряні сферичні кути	$\frac{w}{3}$	Виправлені сферичні кути	Сінуси виправлених сферичних кутів	Сторони плоского трикутника	Адитаменти Довжини сторін
16	A	48°30'20"	0°0'48.28"	48°31'08.28"	=SIN(H11)	=(F17*SIN(G3))*SIN(G4)	=C12
17	B	65°30'18"	0°0'48.28"	65°31'06.28"	=SIN(H12)	=C7-C10*C7^3	=C11
18	C	65°57'01"	0°0'48.28"	65°57'49.28"	=SIN(H13)	=(F16*SIN(G5))*SIN(G3)	=C13
19	$\Sigma 1$	179°57'39"		180°00'03.84"			
20	ε	0°00'3.84"					
21	W1	-0°02'24.84"					

Рис. 42.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Поясніть сутність способу адитаментів.
2. Що таке адитаменти? За якою формулою вони розраховуються?
3. Як знаходяться сторони сферичного трикутника?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 7.

РІШЕННЯ ВЕЛИКИХ СФЕРОЇДИЧНИХ ТРИКУТНИКІВ (ЧАСТИНА 1)

Мета роботи: рішення великого сфероїдичного трикутника по його вершинам та їх широтам, а саме розрахувати поправки за сфероїдичність.

Дано: в таблиці 7 надано вхідні дані для розрахунку.

Таблиця 7

№ п/п	Показники	Значення
1	Вершина трикутника <i>A</i>	$A = 48^\circ 30' 20'' + 5''n$
2	Вершина трикутника <i>B</i>	$B = 65^\circ 30' 18'' + 5''n$
3	Вершина трикутника <i>C</i>	$C = 65^\circ 57' 01'' + 5''n$
4	Широта вершини <i>A</i>	52°
5	Широта вершини <i>B</i>	$56^\circ 43' 42''$
6	Широта вершини <i>C</i>	54°
7	Середня широта розташування трикутника	$54^\circ 14' 36''$
8	Сторона трикутника	45000м
9	Екваторіальна піввісь	6378245м
10	Перший ексцентриситет меридіанного еліпсу e^2	0,0066934216

де *n* – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

Якщо сторони трикутника більше ніж 240км використовувати спосіб адитаментів та теорему Лежандра для розрахунків не доцільно.

Тому для рішення трикутника необхідно притримуватися наступних етапів:

1) Визначити поправки в кути за сфероїдичність δA , δB , δC за формулами:

$$\delta A = \frac{\varepsilon}{12} \left(\frac{K_A - K}{K} \right), \delta B = \frac{\varepsilon}{12} \left(\frac{K_B - K}{K} \right), \delta C = \frac{\varepsilon}{12} \left(\frac{K_C - K}{K} \right) \quad (39)$$

$$K = \frac{1}{R_m^2} \quad (40)$$

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

K – це Гаусова кривизна еліпсоїда, $K_A K_B K_C$ – гаусові кривизни у вершинах трикутника.

2) Розрахувати сферичні кути $Ac\phi$, $Bc\phi$, $Cc\phi$ за формулами:
 $Ac\phi = A - \delta A$, $Bc\phi = B - \delta B$, $Cc\phi = C - \delta C$ (41)

3) Визначити приблизне значення сферичного надлишка $\varepsilon_{пр}$ – формула 42

$$\varepsilon_{пр} = f \frac{b^2 \sin Ac\phi \sin Cc\phi}{\sin Bc\phi} \quad (42)$$

$$f = \frac{\rho''}{2R_m^2}$$

4) Визначити приблизне значення кутів плоского трикутника.
 $A1 = Ac\phi - \varepsilon/3$, $B1 = Bc\phi - \varepsilon/3$, $C1 = Cc\phi - \varepsilon/3$ (43)

5) Визначити приблизне значення сторін a , b , c .
 $a = K \sin A1$, $b = K \sin B1$, $c = K \sin C1$ (44)
 K – розраховується за формулою 30.

6) Визначити точне значення сферичного надлишка:
 $\varepsilon^2/4 = tg(p/2)tg[(p-a)/2]tg[(p-b)/2]tg[(p-c)/2]$, (45)

$$p = \frac{a + b + c}{2b}$$

a , b , c – сторони трикутника в градусній мірі.

7) Визначити точне значення кутів плоского трикутника $A1$, $B1$, $C1$.

$$A1 = Ac\phi - \frac{\varepsilon}{3} - \Delta A, \quad B1 = Bc\phi - \frac{\varepsilon}{3} - \Delta B, \quad (45)$$

$$C1 = Cc\phi - \frac{\varepsilon}{3} - \Delta C$$

$$\Delta A = \frac{\varepsilon}{60} \frac{m^2 - a^2}{R_m^2}, \quad \Delta B = \frac{\varepsilon}{60} \frac{m^2 - b^2}{R_m^2}, \quad \Delta C = \frac{\varepsilon}{60} \frac{m^2 - c^2}{R_m^2} \quad (46)$$

$$m^2 = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{3} \quad (47)$$

8) Рішення трикутника як плоского з обчисленими в пункті 7 з точними значеннями плоских кутів.

9) Контроль обчислень – обчислення сферичних кутів $Ac\phi$, $Bc\phi$, $Cc\phi$.

Переходимо до розрахунків:

- 1) Вводимо вхідні дані з табл. 7.
- 2) Виконуємо обчислення поправок δA , δB , δC (формули 39–40) в кути за сфероїдичність трикутника рис. 43–51.

	A	B	C	D	E	F	G
1	1. Обчислення поправок δA , δB , δC в кути за сфероїдичність трикутника						
2		Формули	Результати обчислень	Примітка			
3	1	A	30°03'56,842"	Вхідні дані			
4	2	B	90°03'56,391"	Вхідні дані			
5	3	C	60°03'56,966"	Вхідні дані			
6	4	a	6378245	Вхідні дані			
7	5	b	804,666593	Вхідні дані			
8	6	$e^{\wedge}2$	0,006693422	Вхідні дані			
9	7	$a(1-e^{\wedge}2)$	6335552,7	Округлюємо до десятих			
10	8	Ba	52°	Вхідні дані	Необхідно перевести в радіани		
11	9	Bb	56°43'42"	Вхідні дані	Необхідно перевести в радіани		
12	10	Bc	54°	Вхідні дані	Необхідно перевести в радіани		
13	11	Bm	54°14'36"	Вхідні дані	Необхідно перевести в радіани		
14	12	$0,25e^{\wedge}2$	0,00167	Округлюємо до 5 знаків			
15	13	$1,25e^{\wedge}2$	0,00837	Округлюємо до 5 знаків			
16	14	$\sin Ba$	0,78801	Округлюємо до 5 знаків			
17	15	$\sin Bb$	0,83608	Округлюємо до 5 знаків			
18	16	$\sin Bc$	0,80902	Округлюємо до 5 знаків			
19	17	$\sin Bm$	0,81150	Округлюємо до 5 знаків			
20	18	$\sin^{\wedge}2Ba$	0,62096	Округлюємо до 5 знаків			
21	19	$\sin^{\wedge}2Bb$	0,69902	Округлюємо до 5 знаків			

Рис. 43.

22	20	$\sin^{\wedge}2Bc$	0,65451	Округлюємо до 5 знаків		
23	21	$\sin^{\wedge}2Bm$	0,65854	Округлюємо до 5 знаків		
24	22	$0,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Ba$	0,00104	Округлюємо до 5 знаків		
25	23	$0,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bb$	0,00117	Округлюємо до 5 знаків		
26	24	$0,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bc$	0,00110	Округлюємо до 5 знаків		
27	25	$0,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bm$	0,00110	Округлюємо до 5 знаків		
28	26	$1,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Ba$	0,00520	Округлюємо до 5 знаків		
29	27	$1,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bb$	0,00585	Округлюємо до 5 знаків		
30	28	$1,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bc$	0,00548	Округлюємо до 5 знаків		
31	29	$1,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bm$	0,00551	Округлюємо до 5 знаків		
32	30	$1+0,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Ba$	1,00104	Округлюємо до 5 знаків		
33	31	$1+0,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bb$	1,00117	Округлюємо до 5 знаків		
34	32	$1+0,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bc$	1,00110	Округлюємо до 5 знаків		
35	33	$1+0,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Bm$	1,00110	Округлюємо до 5 знаків		
36	34	$1-1,25e^{\wedge}2\sin^{\wedge}2Ba$	0,99480	Округлюємо до 5 знаків		

Рис. 44.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

	A	B	C	D
37	35	$1-1.25e^{-2}\sin^2Bb$	0,99415	Округлюємо до 5 знаків
38	36	$1-1.25e^{-2}\sin^2Bc$	0,99452	Округлюємо до 5 знаків
39	37	$1-1.25e^{-2}\sin^2Bm$	0,99449	Округлюємо до 5 знаків
40	38	Ma	6375258	Округлюємо до цілих
41	39	Mb	6380279	Округлюємо до цілих
42	40	Mc	6377415	Округлюємо до цілих
43	41	Mm	6377674	Округлюємо до цілих
44	42	$0.75e^{-2}$	0,00502	Округлюємо до 5 знаків
45	43	$0.75e^{-2}\sin^2Ba$	0,00312	Округлюємо до 5 знаків
46	44	$0.75e^{-2}\sin^2Bb$	0,00351	Округлюємо до 5 знаків
47	45	$0.75e^{-2}\sin^2Bc$	0,00329	Округлюємо до 5 знаків
48	46	$0.75e^{-2}\sin^2Bm$	0,00331	Округлюємо до 5 знаків
49	47	$1-0.25e^{-2}\sin^2Ba$	0,99896	Округлюємо до 5 знаків
50	48	$1-0.25e^{-2}\sin^2Bb$	0,99883	Округлюємо до 5 знаків
51	49	$1-0.25e^{-2}\sin^2Bc$	0,99890	Округлюємо до 5 знаків
52	50	$1-0.25e^{-2}\sin^2Bm$	0,99890	Округлюємо до 5 знаків
53	51	$1-0.75e^{-2}\sin^2Ba$	0,99688	Округлюємо до 5 знаків
54	52	$1-0.75e^{-2}\sin^2Bb$	0,99649	Округлюємо до 5 знаків
55	53	$1-0.75e^{-2}\sin^2Bc$	0,99671	Округлюємо до 5 знаків
56	54	$1-0.75e^{-2}\sin^2Bm$	0,99669	Округлюємо до 5 знаків
57	55	Na	6391342	Округлюємо до цілих
58	56	Nb	6393219	Округлюємо до цілих
59	57	Nc	6392262	Округлюємо до цілих
60	58	Nm	6392349	Округлюємо до цілих
61	59	Rm	6385007	
62	60	f	0,002529900	
63	61	PD1	281114.047419773	

Рис. 45.

64	62	ϵ	711,1904159	
65	63	$\epsilon/12$	59,26586799	
66	64	K	2,45288E-14	
67	65	Ka	2,45412E-14	
68	66	Kb	2,45155E-14	
69	67	Kc	2,45302E-14	
70	68	(Ka-K)/K	0,00051	Округлюємо до 5 знаків
71	69	(Kb-K)/K	-0,00054	Округлюємо до 5 знаків
72	70	(Kc-K)/K	0,00005	Округлюємо до 5 знаків
73	71	δA	0,030	
74	72	δB	-0,032	
75	73	δC	0,003	

Рис. 46.

	A	B	C	D
1	1. Обчислення поправок δA , δB , δC в кути за сферичність трикутника			
2	Формули		Результати обчислень	Примітка
3	1	A	$30^{\circ}03'56,842''$	Вхідні дані
4	2	B	$90^{\circ}03'56,391''$	Вхідні дані
5	3	C	$60^{\circ}03'56,966''$	Вхідні дані
6	4	a	6378245	Вхідні дані
7	5	b	=804666,593/1000	Вхідні дані
8	6	e^{-2}	0,0066934216	Вхідні дані
9	7	$a(1-e^{-2})$	=C6*(1-C8)	Округлюємо до десятих
10	8	Ba	52°	Вхідні дані
11	9	Bb	$56^{\circ}43'42''$	Вхідні дані
12	10	Bc	$54''$	Вхідні дані
13	11	Bm	$54^{\circ}14'36''$	Вхідні дані
14	12	$0.25e^{-2}$	=0,25*C8	Округлюємо до 5 знаків
15	13	$1.25e^{-2}$	=1,25*C8	Округлюємо до 5 знаків
16	14	$\sin Ba$	=SIN(N6)	Округлюємо до 5 знаків
17	15	$\sin Bb$	=SIN(N7)	Округлюємо до 5 знаків
18	16	$\sin Bc$	=SIN(N8)	Округлюємо до 5 знаків
19	17	$\sin Bm$	=SIN(N9)	Округлюємо до 5 знаків
20	18	\sin^2Ba	=C16^2	Округлюємо до 5 знаків
21	19	\sin^2Bb	=C17^2	Округлюємо до 5 знаків

Рис. 47.

22	20	$\sin^2 2Bc$	$=C18^2$	Округлюємо до 5 знаків
23	21	$\sin^2 2Bm$	$=C19^2$	Округлюємо до 5 знаків
24	22	$0.25e^2 \sin^2 2Ba$	$=0.25 * SC\$8 * C20$	Округлюємо до 5 знаків
25	23	$0.25e^2 \sin^2 2Bb$	$=0.25 * SC\$8 * C21$	Округлюємо до 5 знаків
26	24	$0.25e^2 \sin^2 2Bc$	$=0.25 * SC\$8 * C22$	Округлюємо до 5 знаків
27	25	$0.25e^2 \sin^2 2Bm$	$=0.25 * SC\$8 * C23$	Округлюємо до 5 знаків
28	26	$1.25e^2 \sin^2 2Ba$	$=1.25 * SC\$8 * C20$	Округлюємо до 5 знаків
29	27	$1.25e^2 \sin^2 2Bb$	$=1.25 * SC\$8 * C21$	Округлюємо до 5 знаків
30	28	$1.25e^2 \sin^2 2Bc$	$=1.25 * SC\$8 * C22$	Округлюємо до 5 знаків
31	29	$1.25e^2 \sin^2 2Bm$	$=1.25 * SC\$8 * C23$	Округлюємо до 5 знаків
32	30	$1+0.25e^2 \sin^2 2Ba$	$=1+C24$	Округлюємо до 5 знаків
33	31	$1+0.25e^2 \sin^2 2Bb$	$=1+C25$	Округлюємо до 5 знаків
34	32	$1+0.25e^2 \sin^2 2Bc$	$=1+C26$	Округлюємо до 5 знаків
35	33	$1+0.25e^2 \sin^2 2Bm$	$=1+C27$	Округлюємо до 5 знаків
36	34	$1-1.25e^2 \sin^2 2Ba$	$=1-1.25 * SC\$8 * C20$	Округлюємо до 5 знаків
37	35	$1-1.25e^2 \sin^2 2Bb$	$=1-1.25 * SC\$8 * C21$	Округлюємо до 5 знаків
38	36	$1-1.25e^2 \sin^2 2Bc$	$=1-1.25 * SC\$8 * C22$	Округлюємо до 5 знаків
39	37	$1-1.25e^2 \sin^2 2Bm$	$=1-1.25 * SC\$8 * C23$	Округлюємо до 5 знаків
40	38	Ma	$=SC\$9*(C32/C36)$	Округлюємо до цілих
41	39	Mb	$=SC\$9*(C33/C37)$	Округлюємо до цілих

Рис. 48.

42	40	Mc	$=SC\$9*(C34/C38)$	Округлюємо до цілих
43	41	Mm	$=SC\$9*(C35/C39)$	Округлюємо до цілих
44	42	$0.75e^2$	$=0.75 * C8$	Округлюємо до 5 знаків
45	43	$0.75e^2 \sin^2 2Ba$	$=SC\$44 * C20$	Округлюємо до 5 знаків
46	44	$0.75e^2 \sin^2 2Bb$	$=SC\$44 * C21$	Округлюємо до 5 знаків
47	45	$0.75e^2 \sin^2 2Bc$	$=SC\$44 * C22$	Округлюємо до 5 знаків
48	46	$0.75e^2 \sin^2 2Bm$	$=SC\$44 * C23$	Округлюємо до 5 знаків
49	47	$1-0.25e^2 \sin^2 2Ba$	$=1-C24$	Округлюємо до 5 знаків
50	48	$1-0.25e^2 \sin^2 2Bb$	$=1-C25$	Округлюємо до 5 знаків
51	49	$1-0.25e^2 \sin^2 2Bc$	$=1-C26$	Округлюємо до 5 знаків
52	50	$1-0.25e^2 \sin^2 2Bm$	$=1-C27$	Округлюємо до 5 знаків
53	51	$1-0.75e^2 \sin^2 2Ba$	$=1-C45$	Округлюємо до 5 знаків
54	52	$1-0.75e^2 \sin^2 2Bb$	$=1-C46$	Округлюємо до 5 знаків
55	53	$1-0.75e^2 \sin^2 2Bc$	$=1-C47$	Округлюємо до 5 знаків
56	54	$1-0.75e^2 \sin^2 2Bm$	$=1-C48$	Округлюємо до 5 знаків
57	55	Na	$=SC\$6*(C49/C53)$	Округлюємо до цілих
58	56	Nb	$=SC\$6*(C50/C54)$	Округлюємо до цілих
59	57	Nc	$=SC\$6*(C51/C55)$	Округлюємо до цілих
60	58	Nm	$=SC\$6*(C52/C56)$	Округлюємо до цілих
61	59	Rm	$=КОРЕНЬ(C43 * C60)$	
62	60	f	0,0025299	

Рис. 49.

63	61	D1	$=(C7^2 * SIN(N3) * SIN(N5)) / SIN(N4)$	
64	62	e	$=C62 * C63$	
65	63	$e/12$	$=C64/12$	
66	64	K	$=1/C61^2$	
67	65	Ka	$=1/(C40 * C57)$	
68	66	Kb	$=1/(C41 * C58)$	
69	67	Kc	$=1/(C42 * C59)$	
70	68	(Ka-K)/K	$=(C67-C66)/C66$	Округлюємо до 5 знаків
71	69	(Kb-K)/K	$=(C68-C66)/C66$	Округлюємо до 5 знаків
72	70	(Kc-K)/K	$=(C69-C66)/C66$	Округлюємо до 5 знаків
73	71	δA	$=SC\$65 * C70$	
74	72	δB	$=SC\$65 * C71$	
75	73	δC	$=SC\$65 * C72$	

Рис. 50.

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

J	K	L	M	N
Перевод в радіани				
	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
A	0,5236	0,00087	0,0002754	0,5247464
B	1,5708	0,00087	0,0002733	1,5719418
C	1,0472	0,00087	0,000276	1,0483458
Ba	0,9076			0,9075712
Bb	0,9774	0,0125	0,0002035	0,9900898
Bc	0,9425			0,9424778
Bm	0,9425	0,00407	0,0001744	0,9467226

Рис. 51.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Староверов В. С. Вища геодезія : навч. посібник. – К. : ІЗМК, 1996. – 224 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 8.

РІШЕННЯ ВЕЛИКИХ СФЕРОЇДИЧНИХ ТРИКУТНИКІВ (ЧАСТИНА 2)

Мета роботи: рішення великого сфероїдичного трикутника, а саме розрахувати сферичні кути $A_{сф}$, $B_{сф}$, $C_{сф}$, визначити приблизне значення сферичного надлишка $\epsilon_{пр}$, приблизне значення кутів плоско-го трикутника A_1 , B_1 , C_1 , приблизне значення сторін a , b , c та точне значення сферичного надлишка ϵ .

Дано: в таблиці 7 надано вхідні дані для розрахунку.

Переходимо до розрахунків:

- 1) Розрахувати сферичні кути $A_{сф}$, $B_{сф}$, $C_{сф}$ за формулою 41 рис. 52.

1	2.Обчислення сферичних кутів	
2	$A_{сф}=A-\delta A$	$30^{\circ}03'56,812''$
3	$B_{сф}=B-\delta B$	$90^{\circ}03'56,423''$
4	$C_{сф}=C-\delta C$	$60^{\circ}03'56,963''$

Рис. 52.

- 2) Визначити приблизне значення сферичного надлишка за формулою 42 рис. 53, 54.

	A	B	C	D
78	3. Визначення приблизного значення сферичного надлишка			
79	1	f	0,00252990000000	
80	2	$b^2 \sin A_{сф} \sin C_{сф}$	281113,7897522	
81	3	$\epsilon_{пр}$	711,190	Розмірність секунди
82	4	$\epsilon_{пр}$	$0^{\circ}11'51,19''$	Перевод в градуси, хвилини, секунди
83	5	K	804,667121	

Рис. 53.

79	1	f	$=C62$	
80	2	$b^2 \sin A_{сф} \sin C_{сф}$	$=C7^2 * \sin(J80) * \sin(J82)$	
81	3	$\epsilon_{пр}$	$=(C79 * C80) / \sin(J81)$	Розмірність секунди
82	4	$\epsilon_{пр}$	$0^{\circ}11'51,19''$	Перевод в градуси, хвилини, секунди
83	5	K	$=C7 / \sin(J81)$	

Рис. 54.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

3) Визначити приблизне значення кутів плоского трикутника по формулі 43 та приблизне значення сторін трикутника по формулі 44 (рис. 55–57).

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	К	Л		
85	4. Визначення приблизного значення кутів плоского трикутника та приблизного значення його сторін											
Вещ	Вимірні сферичні кути	$-\frac{w}{3}$	Виправлені сферичні кути	$-\frac{e}{3}$	Виправлені плоскі кути	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього радіан	Синуси кутів	Довжини сторін	
87	A	30°03'56.812"	0°00.33"	30°03'57.14"	-0°3'57.06"	30°00'0.08"	0,524		3,8765E-07	0,5236	0,5	402,33383 км
88	B	90°03'56.423"	0°00.33"	90°03'56.75"	-0°3'57.06"	89°59'59.69"	1,553	0,017154	0,00028924	1,57079	1	804,66712 км
89	C	60°03'56.963"	0°00.33"	60°03'57.29"	-0°3'57.06"	60°50'0.23"	1,047	0,014537	1,1145E-06	1,06174	0,8732	702,63751 км
90	Σ	180°11'50.198"		180°11'51.19"		180°00'00"						
91	ϵ	0°11'51.19"										
92	W1	-0°00'0.99"										

Рис. 55.

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	К	Л
Вещ	Вимірні сферичні кути	$-\frac{w}{3}$	Виправлені сферичні кути	$-\frac{e}{3}$	Виправлені плоскі кути	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього радіан	
87	A	30°03'56.812"	0°00.33"	30°03'57.14"	-0°3'57.06"	30°00'0.08"	радіани(30)		=(3,14*0,08)/(180*60*60)	=СУММ(G87:I87)
88	B	90°03'56.423"	0°00.33"	90°03'56.75"	-0°3'57.06"	89°59'59.69"	радіани(89)		=(3,14*59)/(180*60)	=СУММ(G88:I88)
89	C	60°03'56.963"	0°00.33"	60°03'57.29"	-0°3'57.06"	60°50'0.23"	радіани(89)		=(3,14*50)/(180*60)	=СУММ(G89:I89)
90	Σ	180°11'50.198"		180°11'51.19"		180°00'00"				
91	ϵ	0°11'51.19"								
92	W1	-0°00'0.99"								

Рис. 56.

А	В	Г	Н	І	К	Л	
Вещ	Виправлені плоскі кути	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього радіан	Синуси кутів	Довжини сторін
87	30°00'0.08"	=РАДИАНЫ(30)			=(3,14*0,08)/(180*60*60)	=СУММ(G87:I87)	=87*СC88 км
88	89°59'59.69"	=РАДИАНЫ(89)	=(3,14*59)/(180*60)		=(3,14*59.69)/(180*60*60)	=СУММ(G88:I88)	=SIN(J88) =88*СC88 км
89	60°50'0.23"	=РАДИАНЫ(60)	=(3,14*50)/(180*60)		=(3,14*0,23)/(180*60*60)	=СУММ(G89:I89)	=SIN(J89) =89*СC88 км
90	180°00'00"						

Рис. 57.

4) Обчислення точного значення сферичного надлишка ϵ виконується по формулі 45 (рис. 58, 60).

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
86	5. Обчислення точного значення сферичного надлишка						
87	1 p/Rm	0,03230483					
88	2 bp/Rm	1,299722646	секунд				Довжини сторін для розрахунку необхідно перевести в метри
89	3 bp/Rm	2,599443547	секунд				Довжини сторін для розрахунку необхідно перевести в метри
90	4 cp/Rm	2,269841135	секунд				
101	1 p	6°18'18.41"					
102	5 bp	1°08'10.08"					
103	6 bp	8°34'05.04"					
104	7 p/2	4°17'02.52"	0,06981317	0,004942593	1,22111E-05	0,074767974	
105	8 (p - a)/2	2°28'43.91"	0,034906585	0,008140741	0,000212774	0,0432601	
106	9 (p - b)/2	0°40'25.30"	0	0,01162963	0,000122596	0,011752225	
107	10 (p - c)/2	1°07'53.32"	0,017453293	0,002035185	0,000258372	0,019746849	
108	11 tg(p/2)	0,07390761					
109	12 tg((p - a)/2)	0,043287106					
110	13 tg((p - b)/2)	0,011752366					
111	14 tg((p - c)/2)	0,019749416					
112	15 tg ² e/4	7,52625E-07					
113	16 tge/4	0,00086754					
114	17 arctge/4	0,00086754					
115	e/4	0°02'59"					
116	ϵ	0°11'56"					

Рис. 58.

Під час розрахунку для визначення арктангенсу надлишка необхідно користуватися ФУНКЦІЄ «ATAN» (рис. 59).

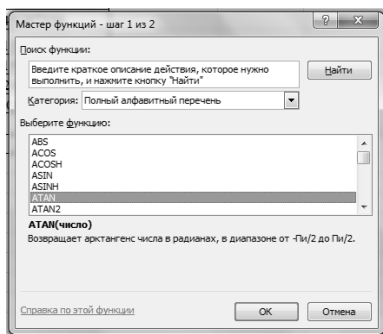


Рис. 59.

	A	B	C	D	E	F	G
95	1	p''/Rm	=206265/C61				
96	2	ap''/Rm	=C95*L87*1000	секунд	Доказни сторін для		
97			3°36'37.23"				
98	3	bp''/Rm	=C95*L88*1000	секунд	Доказни сторін для		
99			7°13'14.44"				
100	4	cp''/Rm	=C95*L89*1000	секунд			
101			6°18'18.41"				
102	5	$2p$	17°08'10.08"				
103	6	p	8°34'05.04"				
104	7	$p/2$	4°17'02.52"	=РАДИАНЫ(4)	=(17*3,14)/(180*60)	=(2,52*3,14)/(180*60*60)	=F104+E104+D104
105	8	$(p - a)/2$	2°28'43.91"	=РАДИАНЫ(2)	=(28*3,14)/(180*60)	=(43,91*3,14)/(180*60*60)	=F105+E105+D105
106	9	$(p - b)/2$	0°40'25.30"	=РАДИАНЫ(0)	=(40*3,14)/(180*60)	=(25,3*3,14)/(180*60*60)	=F106+E106+D106
107	10	$(p - c)/2$	1°07'53.32"	=РАДИАНЫ(1)	=(7*3,14)/(180*60)	=(53,32*3,14)/(180*60*60)	=F107+E107+D107
108	11	$tg(p/2)$	=TAN(G104)				
109	12	$tg((p - a)/2)$	=TAN(G105)				
110	13	$tg((p - b)/2)$	=TAN(G106)				
111	14	$tg((p - c)/2)$	=TAN(G107)				
112	15	$tg^2 \varepsilon/4$	=C108*C109*C110*C111				
113	16	$tg^2 \varepsilon/4$	=КОРЕНЬ(C112)				
114	17	$arctg \varepsilon/4$	=ATAN(C113)				
115	18	$\varepsilon/4$	0°02'39"				
116	19	ε	0°11'56"				

Рис. 60.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Староверов В. С. Вища геодезія : навч. посібник. – К. : ІЗМК, 1996. – 224 с.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 9.

РІШЕННЯ ВЕЛИКИХ СФЕРОІДИЧНИХ ТРИКУТНИКІВ (ЧАСТИНА 3)

Мета роботи: обчислити поправки Δ та плоскі кути трикутника, виконати точне рішення трикутника та контрольні обчислення $As\phi$, $Vs\phi$, $Cs\phi$.

Дано: в таблиці 7 надано вхідні дані для розрахунку.

Переходимо до розрахунків:

1) Обчислюємо поправки Δ за формулами 46, 47 рис. 61.

	A	B	C	
119	6. Обчислення поправок			
120	1	a^2	1.61873E+11	
121	2	b^2	6.47489E+11	
122	3	c^2	4.93699E+11	
123		m^2	4.34354E+11	
124	4	$m^2 - a^2$	2.72481E+11	
125	5	$m^2 - b^2$	-2.13135E+11	
126	6	$m^2 - c^2$	-59345747866	
127	7	$\epsilon/60$	0°0'11.93"	11.93
128	8	R_m^2	40768319938663.2	
129	9	ΔA	0.080	
130	10	ΔB	-0.062	
131	11	ΔC	-0.017	

Рис. 61.

Режим «Show formulas» рис. 62.

	A	B	C	
119	6. Обчислення поправок			
120	1	a^2	$= (L87 * 1000)^2$	
121	2	b^2	$= (L88 * 1000)^2$	
122	3	c^2	$= (L89 * 1000)^2$	
123		m^2	$= (C120 + C121 + C122) / 3$	
124	4	$m^2 - a^2$	$= \$CS123 - C120$	
125	5	$m^2 - b^2$	$= \$CS123 - C121$	
126	6	$m^2 - c^2$	$= \$CS123 - C122$	
127	7	$\epsilon/60$	0°0'11.93"	11.93
128	8	R_m^2	$= C60 * C43$	
129	9	ΔA	$= \$DS127 * (C124 / \$CS128)$	
130	10	ΔB	$= \$DS127 * (C125 / \$CS128)$	
131	11	ΔC	$= \$DS127 * (C126 / \$CS128)$	

Рис. 62.

2) Обчислення плоских кутів трикутника по формулам 45.

$$A1 = 30^{\circ}03'56,812'' - 0^{\circ}03'58,67'' - 0.08'' = 30^{\circ}00'0,872''$$

$$B1 = 90^{\circ}03'56,423'' - 0^{\circ}03'58,67'' + 0.062'' = 89^{\circ}59'58,815''$$

$$C1 = 60^{\circ}03'56,963'' - 0^{\circ}03'58,67'' + 0.017'' = 60^{\circ}00'0.31''$$

3) Рішення трикутника як плоского з обчисленими з точними значеннями плоских кутів рис. 63.

За формулою 30 розраховуємо $K=804,667121$ км.

	A	B	C	D	E	F	G	H
133	7.Точне рішення трикутників							
134	Верш.	Куті плоского трикутника	Синуси кутів	Строни сферичного трикутника, м	Перевод в радіани			
135	A	30°00'0,872"	0,500003659	402,3365051	0,523599	0	4,2E-06	0,523603001
136	B	89°59'58,815"	1	804,667121	1,553343	0,0171537	0,00028	1,570781737
137	C	60°00'0,31"	0,874616146	703,774856	1,047198	0,01744444	1,5E-06	1,064643498
138		180°00'00"						

Рис. 63.

Режим «Show formulas» рис. 64.

	A	B	C	D	E	F	G	H
133	7.Точне рішення трикутників							
134	Верш.	Куті плоского трикутника	Синуси кутів	Строни сферичного трикутника, м	Перевод в радіани			
135	A	30°00'0,872"	=SIN(H135)	=C135*SC383	=РАДИАНЫ(30)	=(0*3,14)/(180*60)	=(-0,872*3,14)/(180*60)	=G135+F135+E135
136	B	89°59'58,815"	=SIN(H136)	=C136*SC383	=РАДИАНЫ(89)	=(59*3,14)/(180*60)	=(58,815*3,14)/(180*60)	=G136+F136+E136
137	C	60°00'0,31"	=SIN(H137)	=C137*SC383	=РАДИАНЫ(60)	=(60*3,14)/(180*60)	=(0,31*3,14)/(180*60)	=G137+F137+E137
138		180°00'00"						

Рис. 64.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Староверов В. С. Вища геодезія : навч. посібник. – К. : ІЗМК, 1996. – 224 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Якщо сторона трикутника більше 240 км по якому способу виконуються рішення трикутників?
2. Перерахуйте всі етапи виконання рішення великих трикутників?
3. Поясніть кожен етап із поясненням всіх використаних формул.
4. В якій спосіб можна проконтролювати розрахунки сторін трикутника?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 10.

ВИЗНАЧЕННЯ АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВІДХИЛЕНЬ ПРЯМОВИСНИХ ЛІНІЙ

Мета роботи: обчислити астрономо-геодезичне відхилення прямовисних ліній.

Дано: на рис. 65 надано вхідні дані для розрахунку.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Вхідні дані						
2	Номер пункта	x,км	y,км	$\xi^{ар}$	$\eta^{ар}$	$\xi^{рп}$	$\eta^{рп}$
3	1	6764,6	-75,8	-1,23	-3,39	1,07	-6,79
4	2	6767,6	25,2	-1,77	2,09	-0,5	-0,14
5	3	6780,5	-10,8	-0,05	-0,07	1,24	-3,4
6	4	6845,9	-56,4	0,72	-0,69	1,56	-3,28
7	5	6854,8	8,8	0,82	-0,94	1,64	-3,69
8	6	6860,8	57,9	-2,09	-1,48	-0,34	-3,83
9	7	6938,6	39,4	-0,59	-1,89	-0,25	-4
10	8	6955,6	-57,2	1,57	-0,22	2,72	-3,4
11	9	6958,2	92,1	1,57	1,02	2,53	-1,68
12	Середні	6858,5	2,6				

Рис. 65.

Теоретичний матеріал:

Астрономо-геодезичним відхиленням виска називають кут між направленням прямовисної лінії та нормаллю до референц-еліпсоїда. Астрономо-геодезичне відхилення складається з: 1-а складова відхилення прямовисної лінії в меридіані $\xi^{ар}$ (формула 48), 2-га складова відхилення прямовисної лінії в площині першого вертикала $\eta^{ар}$ (формула 49),

$$\xi^{ар} = \phi - B \quad (48)$$

$$\eta^{ар} = (\lambda - L)\cos B \quad (49)$$

B , L – геодезичні координати пунктів, ϕ , λ – астрономічні координати пунктів. Для розрахунку складових формули 48, 49 можна використовувати лише в астропунктах. В проміжкових точках ці складові визначаються інтерполяцією по формулах 50, 51:

$$\xi^{ар} = \xi^{рп} + (\xi^{ар} - \xi^{рп})\text{інт} \quad (50)$$

$$\eta^{ар} = \eta^{рп} + (\eta^{ар} - \eta^{рп})\text{інт} \quad (51)$$

$\eta^{рп}$, $\xi^{рп}$ – це складові визначені по гравіметричним картам

$$\xi^{ар} - \xi^{рп} = \Delta\xi = a\Delta x + b\Delta y + c \quad (52)$$

$$\eta^{ар} - \eta^{рп} = \Delta\eta = a1\Delta x + b1\Delta y + c1 \quad (53)$$

$$\begin{aligned} \Delta x &= x - x_{\text{ср}} \\ \Delta y &= y - y_{\text{ср}} \end{aligned} \quad (54)$$

$$\begin{cases} na + [x]b + [y]c - [\Delta\xi] = 0 \\ [x]a + [x^2]b + [xy]c - [x\Delta\xi] = 0 \\ [y]a + [xy]b + [y^2]c - [y\Delta\xi] = 0 \end{cases} \quad (55)$$

$$\begin{cases} na1 + [x]b1 + [y]c1 - [\Delta\eta] = 0 \\ [x]a1 + [x^2]b1 + [xy]c1 - [x\Delta\eta] = 0 \\ [y]a1 + [xy]b1 + [y^2]c1 - [y\Delta\eta] = 0 \end{cases} \quad (56)$$

Оцінку точності відхилення виска виконують за формулами:

$$m_{\Delta\xi} = \sqrt{\frac{[v_i^{\xi^2}]}{n-3}} \quad (57)$$

$$m_{\Delta\eta} = \sqrt{\frac{[v_i^{\eta^2}]}{n-3}} \quad (58)$$

де

$$v_i^{\xi} = a + bx_i + cy_i - \Delta\xi_i \quad (59)$$

$$v_i^{\eta} = a1 + b1x_i + c1y_i - \Delta\eta_i \quad (60)$$

Переходимо до розрахунків:

1) В програмі CorelDraw намалювати рисунок мережі астропунктів з проміжними точками – рис. 66.

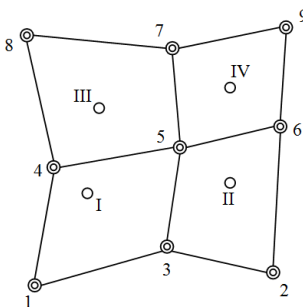


Рис. 66.

2) Вводимо вхідні дані в діапазон A2:G9. Підраховуємо середні значення стовпчика В і С в комірках B12 та C12 (рис. 67).

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

	A	B	C	D	E	F	G
1	Вихідні данні						
2	Номер пункта	x,км	y,км	$\xi^{ар}$	$\eta^{ар}$	$\xi^{ГР}$	$\eta^{ГР}$
3	1	6764,6	-75,8	-1,23	-3,39	1,07	-6,79
4	2	6767,6	25,2	-1,77	2,09	-0,5	-0,14
5	3	6780,5	-10,8	-0,05	-0,07	1,24	-3,4
6	4	6845,9	-56,4	0,72	-0,69	1,56	-3,28
7	5	6854,8	8,8	0,82	-0,94	1,64	-3,69
8	6	6860,8	57,9	-2,09	-1,48	-0,34	-3,83
9	7	6938,6	39,4	-0,59	-1,89	-0,25	-4
10	8	6955,6	-57,2	1,57	-0,22	2,72	-3,4
11	9	6958,2	92,1	1,57	1,02	2,53	-1,68
12	Середні	6858,5	2,6				

Рис. 67.

3) В комірках В16:В24, С розраховуються Δx , Δy за формулою 54. За формулою 52 обчислюють $\Delta \xi$. Для подальшого розрахунку в програмі Mathcad по формулам 55, 56 виконують підготовчі роботи, а саме розраховуються компоненти цих рівнянь рис. 67, 68. Кінцевий варіант системи 1 (формула 55):

$$\begin{cases} 9 \cdot a + 10,72 = 0 \\ 4.913b + 1.326c - 2.071 = 0 \\ 1.326b + 2.635c - 0.867 = 0 \end{cases}$$

Кінцевий варіант системи 2 (формула 56):

$$\begin{cases} 9 \cdot a1 - 24.64 = 0 \\ 4.913b1 + 1.326c1 + 0.7241 = 0 \\ 1.326b1 + 2.635c1 + 1.3691 = 0 \end{cases}$$

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
17	Середні	6858,5	2,6							a	-1,1911	b	0,385	c	0,1353
18										a1	2,7378	b1	-0,008	c1	-0,5154
14		В сотнях км		В сотнях км											
15	Номер пункта	Δx	Δy	$\Delta \xi$	Δx^2	$\Delta x \Delta y$	$\Delta x \Delta \xi$	Δy^2	$\Delta y \Delta \xi$	$\Delta \eta$	$\Delta x \Delta \eta$	$\Delta y \Delta \eta$	b Δx	c Δy	η^f
16	1	-0.939	-0.784	-2.3	0.882	0.73605	2.16	0.614	1.803	3.4	-3.193	-2.665	-0.3616	-0.106	0.641286
17	2	-0.909	0.226	-1.27	0.826	-0.20566	1.1546	0.051	-0.287	2.23	-2.0273	0.5045	-0.35	0.03061	-0.240511
18	3	-0.780	-0.134	-1.29	0.609	0.10436	1.0063	0.018	0.173	3.33	-2.5978	-0.445	-0.3003	-0.0181	-0.219554
19	4	-0.126	-0.590	-0.84	0.016	0.07438	0.1059	0.348	0.495	2.59	-0.3266	-1.528	-0.0486	-0.0798	-0.4794608
20	5	-0.037	0.062	-0.82	0.001	-0.00231	0.0304	0.004	-0.051	2.75	-0.1021	0.1711	-0.0143	0.00842	-0.3769802
21	6	0.023	0.553	-1.75	0.001	0.01266	-0.0401	0.306	-0.968	2.35	0.0538	1.3001	0.00881	0.07485	0.6425521
22	7	0.801	0.368	-0.34	0.641	0.29491	-0.2723	0.136	-0.125	2.11	1.6899	0.7769	0.30834	0.04982	-0.4929484
23	8	0.971	-0.598	-1.15	0.943	-0.58038	-1.1165	0.357	0.687	3.18	3.0874	-1.901	0.37379	-0.0809	0.2518018
24	9	0.997	0.895	-0.96	0.994	0.89244	-0.957	0.801	-0.859	2.7	2.6916	2.4171	0.3838	0.12112	0.2738147
25	2	0.000	0.000	-10.72	4.913	1.326	2.071	2.635	0.867	24.640	-0.7241	-1.369	1.1E-14	0	8.993E-15

Рис. 67.

Продовження таблиці:

	P	Q	R	S	T
15	$b1x_i$	$c1y_i$	u_i^η	$u_i^{\xi^2}$	$u_i^{\eta^2}$
16	0,0075129	0,4039591	-0,25075027	0,41125	0,0629
17	0,0072729	-0,1165949	0,39845573	0,05785	0,1588
18	0,0062409	0,0689491	-0,51703227	0,0482	0,2673
19	0,0010089	0,3039715	0,45275813	0,22988	0,205
20	0,0002969	-0,0320693	-0,04399467	0,14211	0,0019
21	-0,0001831	-0,2851307	0,10246393	0,41287	0,0105
22	-0,0064071	-0,1897817	0,43158893	0,243	0,1863
23	-0,0077671	0,3080947	-0,14189467	0,0634	0,0201
24	-0,0079751	-0,4613975	-0,43159487	0,07497	0,1863
25	-2,134E-16		0	-1,7764E-15	1,68354

Рис. 68.

Режим «Show formulas» рис. 69–71. Оцінку точності по формулам 57–58 виконати в комітках B27:B28.

	A	B	C	D	E	F	G
14		В сотнях км	В сотнях км				
15	Номер пункта	Δx	Δy	$\Delta \xi$	Δx^*2	$\Delta x \Delta y$	$\Delta x \Delta \xi$
16	1	=B3-SBS12)/100	=(C3-SCS12)/100	=D3-F3	=B16^*2	=B16*C16	=D16*B16
17	2	=(B4-SBS12)/100	=(C4-SCS12)/100	=D4-F4	=B17^*2	=B17*C17	=D17*B17
18	3	=B5-SBS12)/100	=(C5-SCS12)/100	=D5-F5	=B18^*2	=B18*C18	=D18*B18
19	4	=B6-SBS12)/100	=(C6-SCS12)/100	=D6-F6	=B19^*2	=B19*C19	=D19*B19
20	5	=B7-SBS12)/100	=(C7-SCS12)/100	=D7-F7	=B20^*2	=B20*C20	=D20*B20
21	6	=B8-SBS12)/100	=(C8-SCS12)/100	=D8-F8	=B21^*2	=B21*C21	=D21*B21
22	7	=B9-SBS12)/100	=(C9-SCS12)/100	=D9-F9	=B22^*2	=B22*C22	=D22*B22
23	8	=B10-SBS12)/100	=(C10-SCS12)/100	=D10-F10	=B23^*2	=B23*C23	=D23*B23
24	9	=B11-SBS12)/100	=(C11-SCS12)/100	=D11-F11	=B24^*2	=B24*C24	=D24*B24
25	Σ	=СУММ(B16:B24)	=СУММ(C16:C24)	=СУММ(D16:D24)	=СУММ(E16:E24)	=СУММ(F16:F24)	=СУММ(G16:G24)
26							
27	$m_{\Delta \xi}$	=КОРЕНЬ(S25/6)					
28	$m_{\Delta \eta}$	=КОРЕНЬ(T25/6)					

Рис. 69.

	H	I	J	K	L	M	N
14							
15	Δy^*2	$\Delta y \Delta \xi$	$\Delta \eta$	$\Delta x \Delta \eta$	$\Delta y \Delta \eta$	b Δx	c Δy
16	=C16^*2	=C16*D16	=E3-G3	=J16*B16	=C16*J16	=SMS12*B16	=SOS12*C16
17	=C17^*2	=C17*D17	=E4-G4	=J17*B17	=C17*J17	=SMS12*B17	=SOS12*C17
18	=C18^*2	=C18*D18	=E5-G5	=J18*B18	=C18*J18	=SMS12*B18	=SOS12*C18
19	=C19^*2	=C19*D19	=E6-G6	=J19*B19	=C19*J19	=SMS12*B19	=SOS12*C19
20	=C20^*2	=C20*D20	=E7-G7	=J20*B20	=C20*J20	=SMS12*B20	=SOS12*C20
21	=C21^*2	=C21*D21	=E8-G8	=J21*B21	=C21*J21	=SMS12*B21	=SOS12*C21
22	=C22^*2	=C22*D22	=E9-G9	=J22*B22	=C22*J22	=SMS12*B22	=SOS12*C22
23	=C23^*2	=C23*D23	=E10-G10	=J23*B23	=C23*J23	=SMS12*B23	=SOS12*C23
24	=C24^*2	=C24*D24	=E11-G11	=J24*B24	=C24*J24	=SMS12*B24	=SOS12*C24
25	=СУММ(H16:H24)	=СУММ(I16:I24)	=СУММ(J16:J24)	=СУММ(K16:K24)	=СУММ(L16:L24)	=СУММ(M16:M24)	=СУММ(N16:N24)

Рис. 70.

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

	O	P	Q	R	S	T
14						
15	v_i^e	$b1x_i$	$c1y_i$	v_i^{η}	$v_i^{\xi 2}$	$v_i^{\eta 2}$
16	=SKS12+M16+N16-D16	=SMS13*B16	=SOS13*C16	=SKS13+P16+Q16-J16	=O16^2	=R16^2
17	=SKS12+M17+N17-D17	=SMS13*B17	=SOS13*C17	=SKS13+P17+Q17-J17	=O17^2	=R17^2
18	=SKS12+M18+N18-D18	=SMS13*B18	=SOS13*C18	=SKS13+P18+Q18-J18	=O18^2	=R18^2
19	=SKS12+M19+N19-D19	=SMS13*B19	=SOS13*C19	=SKS13+P19+Q19-J19	=O19^2	=R19^2
20	=SKS12+M20+N20-D20	=SMS13*B20	=SOS13*C20	=SKS13+P20+Q20-J20	=O20^2	=R20^2
21	=SKS12+M21+N21-D21	=SMS13*B21	=SOS13*C21	=SKS13+P21+Q21-J21	=O21^2	=R21^2
22	=SKS12+M22+N22-D22	=SMS13*B22	=SOS13*C22	=SKS13+P22+Q22-J22	=O22^2	=R22^2
23	=SKS12+M23+N23-D23	=SMS13*B23	=SOS13*C23	=SKS13+P23+Q23-J23	=O23^2	=R23^2
24	=SKS12+M24+N24-D24	=SMS13*B24	=SOS13*C24	=SKS13+P24+Q24-J24	=O24^2	=R24^2
	=CYMM(O16:O24)	=CYMM(P16:P24)	=CYMM(Q16:Q24)	=CYMM(R16:R24)	=CYMM(S16:S24)	=CYMM(T16:T24)

Рис. 71.

4) Розрахунок системи 1в програмі Mathcad.

$$b := 0 \quad c := 0$$

Given

$$4.913 \cdot b + 1.326 \cdot c - 2.071 = 0$$

$$1.326 \cdot b + 2.635 \cdot c - 0.867 = 0$$

$$\text{Find}(b, c) \rightarrow \begin{pmatrix} 0.3850235607146167604 \\ 0.1352784662210315657 \end{pmatrix}$$

Рис. 72.

5) Розрахунок системи 2в програмі Mathcad.

$$b1 := 0 \quad c1 := 0$$

Given

$$4.913 \cdot b1 + 1.326 \cdot c1 + 0.7241 = 0$$

$$1.326 \cdot b1 + 2.635 \cdot c1 + 1.3691 = 0$$

$$\text{Find}(b1, c1) \rightarrow \begin{pmatrix} -0.0082750457006444436678 \\ -0.5154183261483664014 \end{pmatrix}$$

Рис. 73.

6) Обчислюємо різниці складових відхилення рис. 74.

	A	B	C
30	Обчислення різниць складових астрономо-геодезичного відхилення виска в сусідніх астропунктах		
31	Номер пункта	$\Delta\xi_1 - \Delta\xi_2$	$\Delta\eta_1 - \Delta\eta_2$
32	1		
33	3	1,01	-0,070
34	2	0,02	-1,1
35	6	-0,48	0,12
36	5	0,93	0,4
37	4	-0,02	-0,16
38	8	-0,31	0,59
39	7	0,81	-1,07
40	9	-0,62	0,59
41	6	-0,79	-0,35
42	5	0,93	0,4
43	3	-0,47	0,58
44	1	-1,01	0,07
45	4	1,46	-0,81

Рис. 74.

Режим «Show formulas» рис. 75.

	A	B	C
30	Обчислення різниць складових астрономо-геодезичного відхилення виска в сусідніх астропунктах		
31	Номер пункта	$\Delta\xi_1 - \Delta\xi_2$	$\Delta\eta_1 - \Delta\eta_2$
32	1		
33	3	=D18-D16	=J18-J16
34	2	=D17-D18	=J17-J18
35	6	=D21-D17	=J21-J17
36	5	=D20-D21	=J20-J21
37	4	=D19-D20	=J19-J20
38	8	=D23-D19	=J23-J19
39	7	=D22-D23	=J22-J23
40	9	=D24-D22	=J24-J22
41	6	=D21-D24	=J21-J24
42	5	=D20-D21	=J20-J21
43	3	=D18-D20	=J18-J20
44	1	=D16-D18	=J16-J18
45	4	=D19-D16	=J19-J16

Рис. 75.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Хаимов З. С. Основы высшей геодезии : учебник для вузов / Под ред. М. М. Машимова. – М. : Недра, 1984. – 360 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Наведіть етапи астрономо-геодезичного методу визначення поверхні Землі.
2. Що таке астрономо-геодезичне відхилення виска?
3. Які складові астрономо-геодезичне відхилення виска існують? За якими формулами вони розраховуються?
4. Поясніть малюнок 66.
5. Поясніть яким чином використовується метод найменших квадратів для визначення коефіцієнтів рівнянь 59, 60.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 11.

РЕДУКУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ НАПРЯМІВ

Мета роботи: виконати редукування на поверхню референц-еліпсоїда горизонтальних напрямів.

Дано: в таблицях 11, 12 подано вхідні дані.

Таблиця 11

Номер пункту	B	L	H, м	ξ^{ar}	η^{ar}
344	37° 59 '	140° 07 '	850	-24,68	18,01
345	37° 48 '	140° 26 '	762,3	-14,4	-0,95
346	37° 33 '	139° 52 '	580,6	-13,5	24,36

Таблиця 12

Номер пункту	Номер направлення	S	A	z	Вимірні кути
344	346	34,46	126°16,1'	90°18,7'	78°16'25,98''
	345	52,97	204°32,5'	90°28,9'	
345	344	34,46	24°32,5'	89°29,9'	34°01'20,65''
	346	57,1	53°33,8'	89°54,1'	
346	345	57,1	238°33,8'	90°05,1'	67°42'19,23''
	344	34,46	306°16,1'	89°44,1'	

Теоретичний матеріал:

Редукування це перехід від вимірних на поверхні Землі елементів геодезичних мереж (довжин сторін та горизонтальних напрямів) до поверхні прийнятого референц-еліпсоїда. Редукування поділяється на редукування горизонтальних напрямів та лінійних вимірів.

При редукування горизонтальних напрямів вводять три поправки.

Поправка 1 за відхилення прямовисної лінії:

$$v_1 = (\eta_1^{ar} \cos A_{12} - \xi_1^{ar} \sin A_{12}) \operatorname{ctg} z_{12} \quad (61)$$

де η_1^{ar}, ξ_1^{ar} – складові астрономо-геодезичного відхилення прямовисної лінії в точці стояння приладу; A_{12} – азимут; z_{12} – зенітна відстань

Поправка 2 за висоту об'єкта спостереження:

$$v_2 = \rho'' \frac{H_2}{2M_2} e^2 \cos^2 B_2 \sin 2A_{12} \quad (62)$$

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

де H_2, B_2 – геодезична висота (в км) та широта пункту; M – радіус кривизни меридіана формула 5.

Геодезичну висоту H необхідно приймати в розрахунок в кілометрах.

Для еліпсоїда Красовського $\rho \frac{e^2}{2M} \approx 0,108''$

Поправка 3 за перехід від нормального перерізу до геодезичної лінії:

$$v_3 = \rho'' \frac{e'^2}{12N_1^2} S^2 \cos^2 B_1 \sin 2A_1 12, \quad (63)$$

де B_1 – широта точки стояння прилада;

Для еліпсоїда Красовського $\rho'' \frac{e'^2}{12N_1^2} \approx 0,0282''$

Геодезичну висоту H необхідно приймати в розрахунок в кілометрах.

Результати розрахунку 61,62,63:

$$v_1 + v_2 + v_3$$

Сферичний надлишок розраховуємо для обчислення приведених до поверхні референц-еліпсоїда кутів та нев'язки трикутника по формулі 42.

$f = \frac{\rho''}{2R_m^2}$ – знайдемо методом інтерполявання з додатку 2 – 0,0025398 при $B_m = 37^\circ$.

Переходимо до розрахунків:

1) З таблиць 11, 12 вводимо вхідні дані та робимо розрахунок поправки 1 за відхилення прямої лінії по формулі 61 (рис. 76).

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	К	Л	М	О	Р		
1 Визначення поправки за відхилення прямої лінії															
Номер пункту	ξ'' η''	Напр-лення	А	Градуси	Хвилини	Всього	$\eta'' \cos A$	$\xi'' \sin A$	$\eta'' \cos A 12 - \xi'' \sin A 12$	z	Градуси	Хвилини	Всього	$\text{ctg} z 12$	v_1
344	-24,68 18,01	346	126°16,1'	2,1991149	0,0046809	2,203796	-10,654099	-19,89842	9,244317772	90°18,7'	1,5708	0,0054	1,576	-0,005	-0,050
345	-14,4 -0,95	344	24°32,5'	0,418879	0,0094491	0,428328	-0,8641784	-5,981047	5,116869051	89°29,9'	1,5533	0,0087	1,562	0,009	0,045
346	-13,5 24,36	345	238°33,8'	4,1538836	0,009827	4,163711	-12,705202	11,518397	-24,22359898	90°05,1'	1,5708	0,0015	1,572	-0,001	0,036
		344	306°16,1'	5,3407075	0,0046809	5,345388	14,410542	10,884466	3,526075324	89°44,1'	1,5533	0,0128	1,566	0,005	0,016

Рис. 76.

Режим «Show formulas» рис. 77, 78.

Анисенко О. В.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	Номер пункту	ζ'' η''	Напр-лення	A	Градуси	Хвилини	Всього	$\eta'' \cos A$	$\zeta'' \sin A$	$\eta'' \cos A12 - \zeta'' \sin A12$	z
3		-24.68	346	126°16.1'	=РАДИАНЬ(126)	=(16.1*3.14)/(180*60)	=E3+F3	=B4*COS(G3)	=B3*SIN(G3)	=H3-I3	90°18.7'
4	344	18.01	345	204°32.5'	=РАДИАНЬ(204)	=(32.5*3.14)/(180*60)	=E4+F4	=B4*COS(G4)	=B3*SIN(G4)	=H4-I4	90°28.9'
5		-14.4	344	24°32.5'	=РАДИАНЬ(24)	=(32.5*3.14)/(180*60)	=E5+F5	=B6*COS(G5)	=SB5*SIN(G5)	=H5-I5	89°29.9'
6	345	-0.95	346	53°33.8'	=РАДИАНЬ(53)	=(33.8*3.14)/(180*60)	=E6+F6	=B6*COS(G6)	=SB5*SIN(G6)	=H6-I6	89°54.1'
7		-13.5	345	238°33.8'	=РАДИАНЬ(238)	=(33.8*3.14)/(180*60)	=E7+F7	=SB58*COS(G7)	=SB57*SIN(G7)	=H7-I7	90°05.1'
8	346	24.36	344	306°16.1'	=РАДИАНЬ(306)	=(16.1*3.14)/(180*60)	=E8+F8	=SB58*COS(G8)	=SB57*SIN(G8)	=H8-I8	89°44.1'

Рис. 77.

	L	M	N	O	P
2	Градуси	Хвилини	Всього	$ctgz12$	$v1$
3	=РАДИАНЬ(90)	=(18,7*3,14)/(180*60)	=L3+M3	=1/TAN(N3)	=J3*O3
4	=РАДИАНЬ(90)	=(28,9*3,14)/(180*60)	=L4+M4	=1/TAN(N4)	=J4*O4
5	=РАДИАНЬ(89)	=(29,9*3,14)/(180*60)	=L5+M5	=1/TAN(N5)	=J5*O5
6	=РАДИАНЬ(89)	=(54,1*3,14)/(180*60)	=L6+M6	=1/TAN(N6)	=J6*O6
7	=РАДИАНЬ(90)	=(5,1*3,14)/(180*60)	=L7+M7	=1/TAN(N7)	=J7*O7
8	=РАДИАНЬ(89)	=(44,1*3,14)/(180*60)	=L8+M8	=1/TAN(N8)	=J8*O8

Рис. 78.

2) Розраховуємо поправку за висоту об'єкта спостереження за формулою 62:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
10	Визначення поправки за висоту об'єкта											
11	Номер пункту	Напр-лення	С, сотні км	H2	A	sin2A	B2	Градуси	Хвилини	Всього	cosB2'2	v2
12		346	0.3446	0.5806	126°16.1'	-0.953908	37° 33'	0.6457718	0.0095944	0.655366268	0.6286	-0.038
13	344	345	0.5297	0.7623	204°32.5'	0.7556567	37° 48'	0.6457718	0.0139556	0.659727379	0.6244	0.039
14		344	0.5297	0.85	24°32.5'	0.7556567	37° 59'	0.6457718	0.0171537	0.662925527	0.6213	0.043
15	345	346	0.571	0.5806	53°33.8'	0.955659	37° 33'	0.6457718	0.0095944	0.655366268	0.6286	0.038
16		345	0.571	0.7623	238°33.8'	0.8900052	37° 48'	0.6457718	0.0139556	0.659727379	0.6244	0.046
17	346	344	0.3446	0.85	306°16.1'	-0.953908	37° 59'	0.6457718	0.0171537	0.662925527	0.6213	-0.054

Рис. 77.

Режим «Show formulas» рис. 78.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
10	Визначення поправки за висоту об'єкта											
11	Номер пункту	Напр-лення	С, сотні км	H2	A	sin2A	B2	Градуси	Хвилини	Всього	cosB2'2	v2
12		346	=34.46/100	0.5806	126°16.1'	=SIN(2*G3)	37° 33'	=РАДИАНЬ(37)	=(33*3.14)/(180*60)	=H12-H11	=COS(J12)^2	=0.108*D12*K12*F12
13	344	345	=52.97/100	=762.3/1000	204°32.5'	=SIN(2*G4)	37° 48'	=РАДИАНЬ(37)	=(48*3.14)/(180*60)	=H14-H13	=COS(J13)^2	=0.108*D13*K13*F13
14		344	=52.97/100	=850/1000	24°32.5'	=SIN(2*G5)	37° 59'	=РАДИАНЬ(37)	=(59*3.14)/(180*60)	=H14-H14	=COS(J14)^2	=0.108*D14*K14*F14
15	345	346	=57.1/100	0.5806	53°33.8'	=SIN(2*G6)	37° 33'	=РАДИАНЬ(37)	=(33*3.14)/(180*60)	=H15-H15	=COS(J15)^2	=0.108*D15*K15*F15
16		345	=57.1/100	=762.3/1000	238°33.8'	=SIN(2*G7)	37° 48'	=РАДИАНЬ(37)	=(48*3.14)/(180*60)	=H16-H16	=COS(J16)^2	=0.108*D16*K16*F16
17	346	344	=34.46/100	=850/1000	306°16.1'	=SIN(2*G8)	37° 59'	=РАДИАНЬ(37)	=(59*3.14)/(180*60)	=H17-H17	=COS(J17)^2	=0.108*D17*K17*F17

Рис. 78.

3) Розраховуємо поправку за перехід від нормального перерізу до геодезичної лінії.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
Визначення поправки заперехід від нормального перерізу до геодезичної лінії									
v_3		$v_1+v_2+v_3$							
-0.002		-0.090							
0.00371		0.266							
0.00373		0.092							
0.00549		0.062							
0.00514		0.087							
-0.002		-0.040							

Рис. 79.

4) Виконати приведення до поверхні референт-еліпсоїда кутів та нев'язок трикутника (рис. 80).

	A	B	C	D	E	F
20	Обчислення приведених до поверхні референц-еліпсоїда кутів та нев'язки трикутника					
21	Номер пункту	Виміряні кути	Сума поправок	Редуковані кути		
22						
23	344	78°16'25,98''	0.356	78°16'25,624''		
24	345	34°01'20,65''	-0.029	34°01'20,679''		
25						
26	346	67°42'19,23''	-0.127	67°42'19,357''		
27						
28	Σ			180°00'05,66''		
29	ε			4.492		
30	Нев'язка			1.168		

Рис. 80.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Хаймов З. С. Основы высшей геодезии : учебник для вузов / Под ред. М. М. Машимова. – М. : Недра, 1984. – 360 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Що таке редуційна задача геодезії?
2. Які два види редуції існують?
3. Які поправки вводять у вимірний кут при виконанні редуції?
4. За якими формулами робиться розрахунок поправок?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 12.

РЕДУКУВАННЯ ЛІНІЙНИХ ВИМІРІВ

Мета роботи: виконати редукування на поверхню референц-еліпсоїда лінії, виміряної радіодальноміром літака.

Дано: в таблицях 13 подано вхідні дані.

Таблиця 13

1	Вимірні відстані	600000м
2	Геодезична широта точки поверхні землі	48°37'
3	Геодезична довгота точки поверхні землі	74°31'
4	Висота точки поверхні землі	142м
5	Геодезична широта літака	45°03'
6	Геодезична довгота літака	71°57'
7	Висота літака	3764
8	Азимут вимірної лінії	205°18'

Теоретичний матеріал:

Редукування лінії, виміряної радіодальноміром літака виконують за формулою

$$S_1 = \sqrt{\frac{(S + \Delta H)(S - \Delta H)}{\left(1 + \frac{H_1}{R}\right)\left(1 + \frac{H_2}{R}\right)}} \quad (64)$$

$$\Delta H = H_2 - H_1 \quad (65)$$

H_1, H_2 – геодезичні висоти точок, R – середній радіус кривизни розраховується по формулі 66.

$$R = a(1 + 0,5e^2 \sin^2 B_m - e^2 \cos^2 B_m \cos^2 A) \quad (66)$$

Поправка за перехід від хорди S_1 до дуги S_0 визначається за формулою 67.

$$S_0 - S_1 = \frac{S_1^3}{24R^2} \left(1 + \frac{9}{80} \frac{S_1^2}{R^2}\right) \quad (67)$$

Редуковану відстань до поверхні референц-еліпсоїда визначають по формулі:

$$S_0 = S_1 + (S_0 - S_1) \quad (68)$$

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

Переходимо до розрахунків:

1) Вводимо вхідні дані в діапазон B2:C9. В діапазоні D2:F8 переводимо у радіани значення кутів (рис. 81).

	A	B	C	D	E	F
1	1	Виміряні відстані	600000			
2	2	B1	48°37'	0.837758	0.01076	0.8485
3	3	L1	74°31'	1.291544	0.00901	1.3006
4	4	H1	142			
5	5	B2	45°03'	0.785398	0.00087	0.7863
6	6	L2	71°57'	1.239184	0.01657	1.2558
7	7	H2	3764			
8	8	A	205°18'	3.577925	0.00523	3.5832

Рис. 81.

2) За формулою 66 розраховуємо середній радіус кривизни (рис. 82, 83).

	A	B	C	D
11		Середній радіус референц-еліпсоїд		
12	1	e^2	0.006693422	
13	2	a	6378245	
14	3	Bm	0.817392917	
15	4	$\sin Bm^2$	0.531972923	
16	5	$\cos Bm^2$	0.468027077	
17	6	$\cos A^2$	0.817367308	
18	7	R	6373.268635	6373269

Рис. 82.

Режим «Show formulas»:

	A	B	C	D
11		Середній радіус референц-еліпсоїд		
12	1	e^2	0,0066934216	
13	2	a	6378245	
14	3	Bm	$=(F2+F5)/2$	
15	4	$\sin Bm^2$	$=\text{SIN}(C14)^2$	
16	5	$\cos Bm^2$	$=\text{COS}(C14)^2$	
17	6	$\cos A^2$	$=\text{COS}(F8)^2$	
18	7	R	$=(C13*(1+0,5*C12*C15-C12*C16*C17))/1000$	$=C18*1000$

Рис. 83.

3) По формулі 64 розраховуємо хорду S1 (рис. 84, 85).

	A	B	C	
20	Хорда			
21	1	$\Delta H = H2 - H1$	3622	
22	2	$S + \Delta H$	603622	
23	3	$S - \Delta H$	596378	
24	4	$(S + \Delta H)(S - \Delta H)$	3.59987E+11	
25	5	$(1 + \frac{H1}{R})(1 + \frac{H2}{R})$	1.000612885	
26	6	S1	599805.2897	м

Рис. 84.

Режим «Show formulas»:

	A	B	C	
20	Хорда			
21	1	$\Delta H = H2 - H1$	=C7-C4	
22	2	$S + \Delta H$	=C21+C1	
23	3	$S - \Delta H$	=C1-C21	
24	4	$(S + \Delta H)(S - \Delta H)$	=C22*C23	
25	5	$(1 + \frac{H1}{R})(1 + \frac{H2}{R})$	=(1+(C4/D18))*(1+(C7/D18))	
26	6	S1	=КОРЕНЬ(C24/C25)	м

Рис. 85.

4) Розраховуємо поправку за перехід від хорди S1 до дуги S0 по формулі 67 (рис. 86, 87).

	A	B	C	
28	Поправка за перехід від хорди до дуги			
29	1	$\frac{S1^3}{24R^2}$	221.3579804	
30	2	$\frac{9}{80} \frac{S1^2}{R^2}$	0.000996434	
31	3	$S0 - S1$	221.578549	
32				
33	Редукована відстань			
34	1	S0	600026.8682	

Рис. 86.

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

	A	B	C
28	Поправка за перехід від хорди до дуги		
29	1	$\frac{S1^3}{24R^2}$	=C26^3/(24*D18^2)
30	2	$\frac{9 S1^2}{80 R^2}$	=(9/80)*(C26^2/D18^2)
31	3	S0 – S1	=C29*(1+C30)
32			
33	Редукована відстань		
34	1	S0	=C26+C31

Рис. 87.

5) Розраховуємо редукування до поверхні референт-еліпсоїда по формулі 68 (рис. 86, 87).

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Хаимов З. С. Основы высшей геодезии : учебник для вузов / Под ред. М. М. Машимова. – М. : Недра, 1984. – 360 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Перерахувати види лінійних вимірів існують?
2. Які етапи редукації лінійних вимірів?
3. Як розраховується середній радіус кривизни еліпсоїда?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 13.

СИСТЕМИ КООРДИНАТ І ЗБЛИЖЕННЯ МЕРИДІАНІВ У ПРОЕКЦІЇ ГАУСА–КРЮГЕРА

Мета роботи: полягає у практичному вивченню та набутті навичок при рішенні інженерних задач із координатами і зближенням меридіанів на проекції Гауса-Крюгера.

Теоретичний матеріал:

Положення будь-якої точки визначається географічними координатами (широтою B і довготою L), та прямокутними координатами (абсцисою X і ординатою Y).

Оскільки поверхню еліпсоїда неможливо перенести на горизонтальну площину без спотворення, будують умовні зображення поверхні еліпсоїда в певних картографічних проекціях. Залежно від виду спотворення поділяють на: *рівновеликі*, в яких спотворюються всі елементи, але зберігається співвідношення площ фігур; *рівнокутні*, де кути не спотворюються, але спотворюється співвідношення площ; *рівнопромежні*, в яких спотворюються кути і співвідношення площ. Вибір проекції залежить від призначення плану або карти.

Для складання топографічних карт в Україні прийнята *поперечно-циліндрична рівнокутна* проекція Гауса-Крюгера. Сутність даної проекції в тому, що земний еліпсоїд поділяється на шестиградусні зони, які при проектуванні з центра еліпсоїда на стінки циліндра відображають зону, обмежену двома меридіанами. Дотик еліпсоїда і поверхні циліндра проходить по осьовому (середньому) меридіану триградусної або шестиградусної зони: (на практиці, як правило, використовується шестиградусна зона (рис. 88).

Поділ поверхні еліпсоїда на зони зумовлено тим, що при віддаленні від осьового меридіана отримують значне спотворення положення точок у проекції Гауса-Крюгера.

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

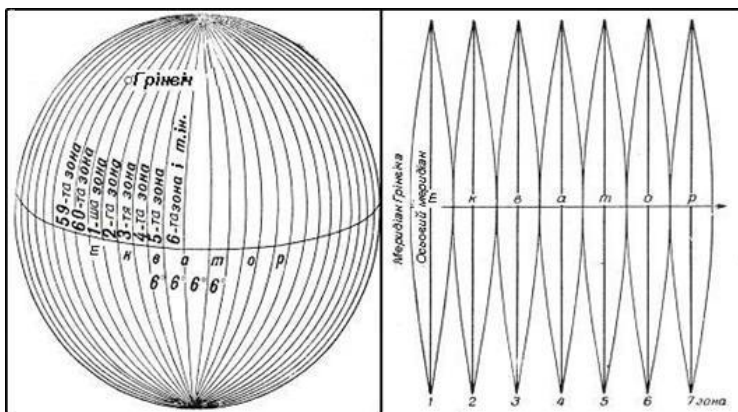


Рис. 88.

1. Визначення географічних і прямокутних координат заданої точки.

Для визначення географічних і прямокутних координат заданої точки (*A*) візьмемо аркуш листа карти масштабу 1:10000 з номенклатурою К-37-58-А-а-2, з географічними координатами вершин рамки трапеції (рис.89)

$$B = 42^{\circ} 37' 30''; \quad 42^{\circ} 40' 00''$$

$$L = 40^{\circ} 33' 45''; \quad 40^{\circ} 37' 30''$$

а) Географічна система координат – це широта (*B*) і довгота (*L*), яка виражається в градусах, хвилинах і секундах (рис. 89).

Для знаходження широти (*B*) і довготи (*L*) точки (*A*) необхідно дану точку спроектувати на географічну сітку координат (рамку трапеції). Через вертикальний край рамки від південної широти $B=42^{\circ}37'30''$ знаходимо широту з точністю до десяти секунд точки(*A*), а через горизонтальний край рамки від західної довготи $L=40^{\circ}33'45''$ знаходимо довготу з точністю до десяти секунд точки (*A*). У даному випадку широта і довгота точки (*A*) буде рівна:

$$B=42^{\circ}38'40'' , L=40^{\circ} 34' 20''$$

Для точнішого визначення широти і довготи необхідно десяти секундний інтервал розділити на десять рівних інтервалів і відрахувати кількість інтервалів до спроектованої точки, отримаємо остаточні географічні координат шуканої точки:

$$B=42^{\circ}38' 43'' L=40^{\circ} '34' 26''.$$

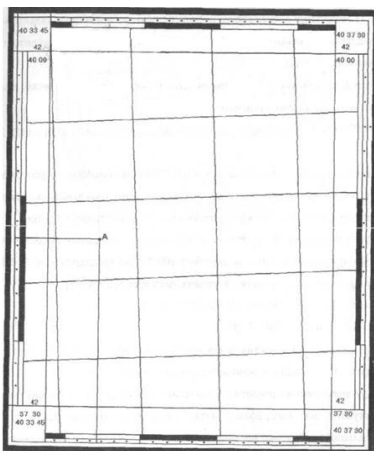


Рис. 89.

б) Прямокутна система координат – це абсциса (X), ордината (Y), які виражаються в метрах.

У кожній зоні початком прямокутних координат є точка перетину середнього (осьового) меридіана даної зони з екватором (рис. 90). За вісь абсцис використовують осьовий меридіан або лінію йому паралельну, а за вісь ординат – екватор або лінію йому паралельну.

Рахунок абсцис ведеться від екватора на північ із плюсом, а на південь із мінусом. Ординати відраховуються від осьового меридіана на схід із плюсом, а на захід із мінусом. Оскільки територія України розташована вище екватора, то всі абсциси будуть додатні, а ординати будуть додатні або від'ємні залежно від розміщення аркуша відносно до осьового меридіана. Щоб не застосовувати від'ємні ординати, на практиці вводять умовну систему прямокутних координат.

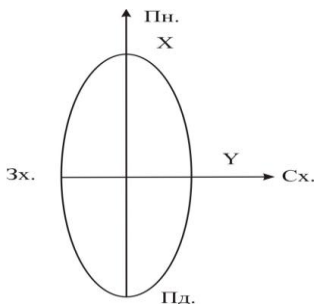


Рис. 90.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

Для полегшення користування прямокутними координатами аркуш карти ділять сіткою квадратів (сторони квадратів паралельні осьовому меридіану і екватору). Така сітка завжди нанесена на топографічну карту і називається кілометровою.

Для визначення прямокутних координат (X , Y) заданої точки (A) потрібно її спроектувати на сторони прямокутної координатної сітки (рис. 91).

Координати точки складаються з координат вертикальної та горизонтальної сторін кілометрової сітки плюс відстані в метрах від сторін квадрата до точки:

$$\begin{aligned} X_A &= X + \Delta X \\ Y_A &= Y + \Delta Y \end{aligned} \quad (69)$$

В нашому випадку абсциса (X) та ордината (Y) півд. зах. вершини квадрата будуть рівні:

$$X = 4724000 \text{ м}; \quad \Delta X = 492 \text{ м}; \quad Y = 7629000 \text{ м}; \quad \Delta Y = 585 \text{ м}.$$

Кінцеве значення координати точки (A) буде рівне:

$$X = 4724492 \text{ м}; \quad Y = 7629585 \text{ м. К-37-58-А-а-2}$$

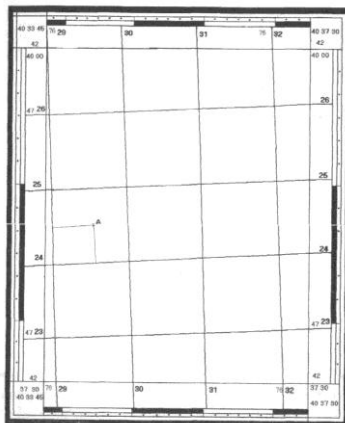


Рис. 91

Перехід від абсолютної системи прямокутних координат до умовної та від умовної до абсолютної.

На практиці ординату точок осьового меридіана не рахують за нуль, а за 500 км. Умовно відносять осьовий меридіан вліво на край зони. Крім цього, спереду кожної ординати ставиться номер зони, в якій розташована точка.

ПРИКЛАД 1.

Дано, абсолютні прямокутні координати точки (A):

$$X_A = 4724492 \text{ м}$$

$$Y_A = +129585 \text{ м довготу осьового меридіана:}$$

$$L_o = 39^\circ$$

Отримати умовні прямокутні координати точки (A). Задача розв'язується в такому порядку. Для отримання умовних координат: абсцису (X) залишаємо без змін, а до ординати (Y) додаємо 500км та дописуємо номер зони, в якій знаходиться точка (A). Номер зони визначаємо за довготою осьового меридіана (L_o) за формулою:

$$N = \frac{L_0 + 3}{6^0} \quad (70)$$

де L₀ – довгота осьового меридіана даної зони:

$$X_A = 4724492 \text{ м; } Y_A = 7629585 \text{ м.}$$

ПРИКЛАД 2.

Дано умовні прямокутні координати точки (A):

$$X_A = 4724492 \text{ м; } Y_A = 7629585 \text{ м.}$$

Отримати абсолютні прямокутні координати точки (A). Задачу розв'язують в такому порядку. Для отримання абсолютних координат абсцису (X) залишаємо без змін, а в ординаті (Y) не враховуючи номер зони, віднімаємо 500 км:

$$X_A = 4724492 \text{ м; } Y_A = +129585 \text{ м.}$$

Визначити Гаусове зближення меридіанів південно-західних вершини рамки трапеції масштабу 1: 2000.

Задача розв'язується в такому порядку:

1. За даною номенклатурою карти знаходять географічні координати (B; L) по аркуша карти мільйонного масштабу (рис. 91), після чого поступово переходять до побудови трапеції та визначення географічних координат рамки трапеції, яка відповідає даній номенклатурі.

2. Довготу осьового меридіана (L_a) аркуш карти мільйонного масштабу, в якій знаходиться лист карти даної номенклатури знаходимо за формулою:

$$L_0 = 6^0 \cdot N - 3 \quad (71)$$

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

де N – номер даної зони, в якій знаходиться аркуш карти даної номенклатури. Щоб знайти, номер, від номера колонки потрібно відняти число 30.

3. Зближення меридіанів південно-західної вершини рамки трапеції знаходимо за формулою.

$$y = (L - L_0) \sin B, \quad (72)$$

де B , L – широта і довгота південно-західної вершини рамки трапеції, L_0 – довгота осьового меридіана.

ПРИКЛАД 3.

Задано номенклатуру аркуша карти масштабу 1: 2000 N-35-50-(86-и).
Задача розв'язується у такому порядку:

Необхідно від аркуша карти масштабу 1:1000000 перейти до аркуша карти масштабу 1:2000.

1. За поясом (N), за номером колонки 35 на міжнародній розмітці знаходимо аркуш карти масштабу 1:1000000. Викреслюємо трапецію і виписуємо географічні координати (B : L) вершин рамки трапеції масштабу 1:1000000:

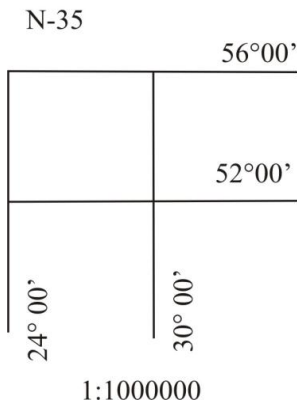


Рис. 92.

Для переходу від рамки трапеції масштабу 1:1000000 до рамки трапеції масштабу 1:100000 необхідно аркуш карти масштабу 1:1000000 поділити на 144 квадрати (12 x 12) і пронумерувати арабськими цифрами з ліва на право і зверху і вниз від 1 до 144:

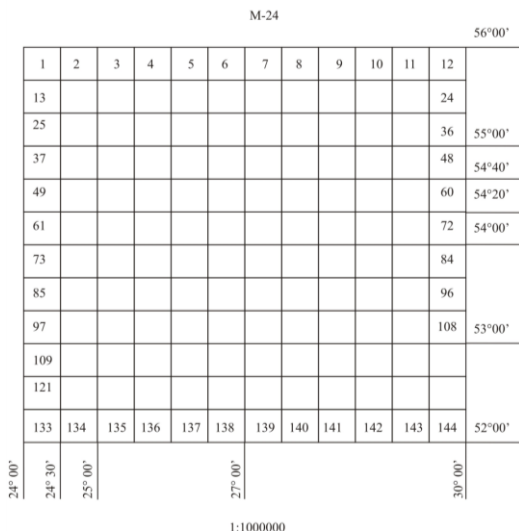


Рис. 93.

Розміри рамки трапеції масштабу 1:100000: за довготою $L = \frac{6^0}{12} = 30'$
та за широтою $B = \frac{4^0}{12} = 20'$

За цифрою (50) номенклатури знаходимо рамку трапеції масштабу 1:100000, викреслюємо її та виписуємо географічні координати її вершин:

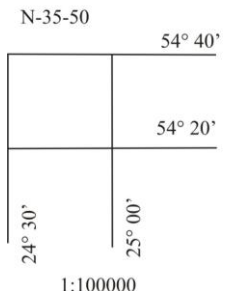


Рис. 94.

Від рамки трапеції масштабу 1:100000, розбивши її на 256 квадратів (16x16) переходимо до рамки трапеції масштабу 1:5000. Квадрати нумеруються аналогічно рамці трапеції 1:100000 від 1 до 256. Розміри рамки трапеції масштабу 1:5000 будуть рівні: за довготою

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

$\frac{20'}{16} = 1'15''$ та за широтою $\frac{30'}{15} = 1'52,5''$ За третьою цифрою (86) знаходимо квадрат аркуша карти масштабу 1:5000:

Викреслюємо рамку трапеції масштабу 1:5000 і вписуємо координати її вершин.

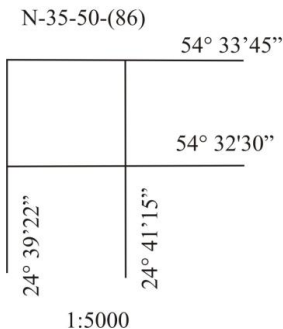


Рис. 95.

Від рамки трапеції масштабу 1:5000 переходимо до рамки трапеції масштабу 1:2000 поділивши її на 9 квадратів, і нумеруємо літерами від літери «а» до літери «и» аналогічно до попередніх рамок.

Розміри рамки трапеції масштабу 1:2000 рівні за довготою $\frac{1'15''}{3} = 25''$, а за широтою $\frac{1'52,5''}{3} = 37,5''$

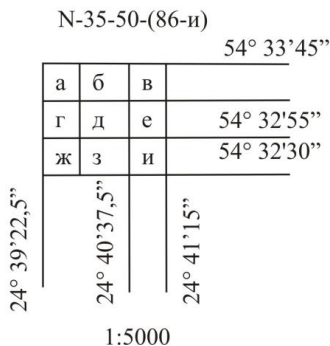


Рис. 96.

За літерою «и» знаходимо рамку трапеції масштабу 1:2000, викреслюємо і вписуємо її координати:

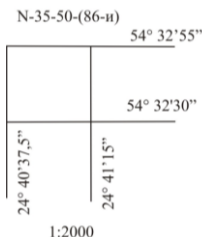


Рис. 97.

2. Знаходимо довготу осевого меридіана:

$$L_0 = 6^0 \cdot N - 3 = 6^0 \cdot 5 - 3 = 27^0$$

3. Знаходимо зближення меридіанів південно-західної вершини рамки трапеції масштабу 1:2000:

$$\gamma = (L - L_0) \cdot \sin B = (24^0 40' 37,5'' - 27^0 00' 00'') \cdot \sin 54^0 32' 30'' = -2^0 42' 23,5''$$

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Хаимов З. С. Основы высшей геодезии : учебник для вузов / Под ред. М. М. Машимова. – М. : Недра, 1984. – 360 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Що таке зближення меридіан в проекції Гауса–Крюгера?
2. Охарактеризуйте прямокутну система координат в проекції Гауса–Крюгера.
3. Охарактеризуй топографічну систему координат в проекції Гауса–Крюгера
4. Поясніть різницю абсолютної і умовної системи координат в проекції Гауса–Крюгера
5. Як виконується перехід від абсолютної системи координат до умовної та навпаки?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 14.

РОЗРАХУНОК ПРЯМОКУТНИХ КООРДИНАТ ПУНКТУ ЗА ГЕОДЕЗИЧНИМИ КООРДИНАТАМИ

Мета роботи: полягає у практичному вивченню та набутті навичок обчислень прямокутних координат точок.

Дано: в таблиці 14 подано вхідні дані.

Таблиця 14

1	Осьовий меридіан	$L_0=42^{\circ} 40' 00''$
2	Геодезична широта	$B=50^{\circ} 40' 43''+3''n$
3	Геодезична довгота	$L=25^{\circ} 02' 14''- 3''n$

де n – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

Для обчислення прямокутних координат x , y точки по геодезичним координатам B , L , яка знаходиться в зоні з осьовим меридіаном L_0 використовуються формули 73, 74:

$$x = 6367558,4969 \frac{B''}{\rho''} - (a_0 - \{0,5 + (a_4 + a_6 l^2) l^2\} l^2 N) \sin B \cos B \quad (73)$$

$$y = [1 + (a_3 + a_5 l^2) l^2] l N \cos B, \quad (74)$$

де:

$$l = \frac{L - L_0}{\rho''}$$

$$N = 6399698,902$$

$$- (21562,267$$

$$- \{108,973 - 0,612 \cos^2 B\} \cos^2 B) \cos^2 B$$

$$a_0 = 32140,404 - (135,3302 - \{0,7092 - 0,004 \cos^2 B\} \cos^2 B) \cos^2 B$$

$$a_4 = (0,25 + 0,00252 \cos^2 B) \cos^2 B - 0,04166$$

$$a_6 = (0,166 \cos^2 B - 0,084) \cos^2 B$$

$$a_3 = (0,3333333 + 0,001123 \cos^2 B) \cos^2 B - 0,1666667$$

$$a_5 = 0,0083 - (0,1667 - (0,1968 + 0,004 \cos^2 B) \cos^2 B) \cos^2 B$$

Переходимо до розрахунків:

1) Вводимо вхідні дані в діапазон С3:С5. В діапазоні D3:G5 переводимо у радіани значення кутів (рис. 98).

Анисенко О. В.

	A	B	C	D	E	F	G
1				Перевод в радіани			
2		Вхідні данні		Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
3	1	LO	$42^{\circ} 40' 00''$	0.733038	0.01163	0	0.7446679
4	2	B	$50^{\circ} 40' 43''$	0.872665	0.01163	0.000208364	0.8845026
5	3	L	$43^{\circ} 02' 14''$	0.436332	0.000581	6.78395E-05	0.4369816
6							

Рис. 98.

2) Виконуємо розрахунок прямокутних координат по формулам 73, 74 (рис. 99).

	A	B	C	D
7	Розрахунок			
8	1	B''	182443	
9	2	$\frac{B''}{\rho''}$	0.884507793	
10	3	$\sin B$	0.773599906	
11	4	$\cos B$	0.633674353	
12	5	l	$0^{\circ} 22' 14''$	
13	6	l''	1334	
14	7	l''/ρ''	0.006467408	
15	8	l^2	4.18274E-05	
16	9	N	6391058.251	
17	10	$l^2 N$	267.3211698	
18	11	$a0$	32086.17717	
19	12	$a4$	0.059132114	
20	13	$a6$	-0.006964297	
21	14	$a3$	-0.032637916	
22	15	$a5$	-0.026646847	
23	16	x	5616491.659	м
24	17	y	26191.99636	м

Рис. 99.

Режим «Show formulas»:

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

	A	B	C
7		Розрахунок	
8	1	B''	=50*60*60+40*60+43
9	2	$\frac{B''}{\rho''}$	=C8/206265
10	3	$\sin B$	=SIN(G4)
11	4	$\cos B$	=COS(G4)
12	5	Z	0° 22' 14"
13	6	l''	=22*60+14
14	7	l''/ρ''	=C13/206265
15	8	l^2	=C14^2
16	9	N	=6399698.902-(21562.267-(108.973-0.612*C11^2)*C11^2)*C11^2
17	10	$l^2 N$	=C15*C16
18	11	$a0$	=32140.404-(135.3302-(0.7092-0.004*C11^2)*C11^2)*C11^2
19	12	$a4$	=(0.25+0.00252*C11^2)*C11^2-0.04166
20	13	$a6$	=(0.166*C11^2-0.084)*C11^2
21	14	$a3$	=(0.3333333+0.001123*C11^2)*C11^2-0.1666667
22	15	$a5$	=0.0083-(0.1667-(0.1968+0.004*C11^2)*C11^2)*C11^2
23	16	x	=6367558.4969*C9-(C18-(0.5+(C19+C20*C15)*C15)*C17)*C10*C11
24	17	y	=(1+(C21+C22*C15)*C15)*C14*C16*C11

Рис. 100.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Хаимов З. С. Основы высшей геодезии : учебник для вузов / Под ред. М. М. Машимова. – М. : Недра, 1984. – 360 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Надайте визначення геодезичної Широти?
2. Надайте визначення геодезичної довготи?
3. Надайте визначення геодезичної висоти?
4. Як можна визначити порядковий номер зони?
5. Як визначається довгота осьового меридіана шестиградусних зон?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 15.

РОЗРАХУНОК ГЕОДЕЗИЧНИХ КООРДИНАТ ПУНКТУ ЗА ПРЯМОКУТНИМИ КООРДИНАТАМИ ГАУСА–КРЮГЕРА

Мета роботи: полягає у практичному вивченню та набутті навичок обчислень геодезичних координат точок.

Дано: в таблиці 15 подано вхідні дані.

Таблиця 15

1	Осьовий меридіан	L0=21°
2	Прямокутні координати	x=5728374,726+5*n
		y=210198.193+3*n

де n – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

Визначення геодезичних координат точки по її прямокутним координатам виконується по формулам:

$$B = Bx - (1 - (b4 - 0.12z^2)z^2)z^2 b2 \rho'' \quad (75)$$

$$L = L0 + l \quad (76)$$

$$l = (1 - (b3 - b5z^2)z^2)z \rho'' \quad (77)$$

де:

$$Bx =$$

$$\beta'' + (50221746 + (293622 + (2350 + 22\cos^2\beta)\cos^2\beta)\cos^2\beta)10^{-10} * \sin\beta\cos\beta\rho''$$

$$\beta = (x/6367558,4969)\rho''$$

$$z = y/(Nx\cos Bx)$$

$$Nx = 6399698.902 + (21562.267 - (108.973 - 0.612\cos^2 Bx)\cos^2 Bx)\cos^2 Bx$$

$$b2 = (0,5 + 0,003369\cos^2 Bx)\sin Bx\cos Bx$$

$$b3 = 0,333333 - (0,166667 + 0,001123\cos^2 Bx)\cos^2 Bx$$

$$b4 = 0,25 + (0,16161 + 0,00562\cos^2 Bx)\cos^2 Bx$$

$$b5 = 0.2 - (0,1667 - 0,0088\cos^2 Bx)\cos^2 Bx$$

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»

Переходимо до розрахунків:

1) Вводимо вхідні дані в діапазон С2:С4. В діапазоні D4:G4 переводимо у радіани значення нульового меридіана (рис. 101).

	A	B	C	D	E	F	G
1		Вхідні дані					
2	1	x	5728374,726	Перевод в радіани			
3	2	y	210198,193	Градуси	Хвилини	Секунди	Всього
4	3	$L0$	21°	0,366519143	0	0	0,3665191

Рис. 101.

2) Виконуємо розрахунок по формулам 75, 75, 77 (рис. 102).

	A	B	C	D	E
6			Розрахунок		Перевод в радіани
7		1	β''	185559,8521	0,899163481
8		2	$\sin\beta$	0,782806647	
9		3	$\cos\beta$	0,622265019	
10		4	$\cos^2\beta$	0,387213753	Перевод в радіани
11		5	Bx	186065,598	0,901614163
12		6	$\sin Bx$	0,784329269	
13		7	$\cos Bx$	0,620344742	
14		8	Nx	6391417,25	
15		9	$b2$	0,243908079	
16		10	$b3$	0,269361246	
17		11	$b4$	0,313024267	
18		12	$b5$	0,137152451	
19		13	z	0,053014992	
20		14	z^2	0,002810589	
21		15	B	185924,3223	
22		16	B в град	51° 38' 44.32"	
23		17	l	10926,87063	
24		18	l	3° 02' 06.87"	
25		19	L	24° 02' 06.87"	

Рис. 102.

Режим «Show formulas»:

	A	B	C	D	E
6			Розрахунок		Перевод в радіани
7		1	β''	=C2/6367558,4969*206265	=C3,14*D7)/(180*60*60)
8		2	$\sin\beta$	=SIN(E7)	
9		3	$\cos\beta$	=COS(E7)	
10		4	$\cos^2\beta$	=D9^2	Перевод в радіани
11		5	Bx	=D7*(50221746+(293622+(2350+22*D10)*D10)*D10*(10^-10)*D9*D8*206265	=C3,14*D11)/(180*60*60)
12		6	$\sin Bx$	=SIN(E11)	
13		7	$\cos Bx$	=COS(E11)	
14		8	Nx	=6399698,902-(21562,267-(108,973-0,612*D13^2)*D13^2)*D13^2	
15		9	$b2$	=C0,5+0,003369*D13^2)*D12*D13	
16		10	$b3$	=0,333333-(0,166667-0,001123*D13^2)*D13^2	
17		11	$b4$	=0,25+(0,16161+0,00562*D13^2)*D13^2	
18		12	$b5$	=0,2-(0,1667-0,0088*D13^2)*D13^2	
19		13	z	=C3/(D14*D13)	
20		14	z^2	=D19^2	
21		15	B	=D11-(1-(D17-0,12*D20)*D20)*D20*D15*206265	
22		16	B в град	51° 38' 44.32"	
23		17	l	=C1-(D16-D18*D20)*D20*D19*206265	
24		18	l	3° 02' 06.87"	
25		19	L	24° 02' 06.87"	

Рис. 103.

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Хаимов З. С. Основы высшей геодезии : учебник для вузов / Под ред. М. М. Машимова. – М. : Недра, 1984. – 360 с.
3. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : Учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Надайте визначення геодезичної широти?
2. Надайте визначення геодезичної довготи?
3. Етапи виконання розрахунку прямокутних координат Гауса–Крюгера.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 16.

ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРЯМОКУТНИХ КООРДИНАТ ГАУСА–КРЮГЕРА З ОДНІЄЇ ЗОНИ В ІНШУ

Мета роботи: полягає у практичному вивченню та набутті навичок обчислень перетворень прямокутних координат з однієї зони в іншу.

Дано: в таблицях 15 (практична робота 15) подано вхідні дані.

Необхідно виконати перетворення координат точки в суміжну зону з довготою осьового меридіана $L_0=27^\circ$.

Теоретичний матеріал:

Етапи виконання роботи:

1) По заданим прямокутним координатам точки x_1, y_1 в зоні I з осьовим меридіаном L_0 розраховуємо геодезичні координати B_1, L_1 по формулам 75, 76, 77

2) Від координат B_1, L_1 цієї точки переходять по формулам 73, 74 до прямокутних координат x_2, y_2 в другій зоні з осьовим меридіаном L_0 .

До захисту подається практична робота, яка складається із:

1) титульного аркуша (додаток 1);
2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);

3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.

2. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : Учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глузов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.

Питання для захисту практичної роботи

1. Надайте визначення міжнародної карти?
2. Поясніть що таке нульовий меридіан по малюнку?
3. Етапи виконання перетворення прямокутних координат Гауса-Крюгера з однієї зони в іншу.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 17.

РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ПРЯМОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ЗАДАЧІ МЕТОДОМ РУНГЕ-КУТТА-ІНГЛАНДА

Мета роботи: полягає у практичному вивченню та набутті навичок обчислень прямої геодезичної задачі методом Рунге-Кутта-Інгланда.

Дано: в таблиці 17 подано вхідні дані.

Таблиця 17

Величина	Значення
<i>Широта точки</i>	$B1 = 48^{\circ}01'01.1111'' + 7' * n$
<i>Довгота точки</i>	$L1 = 17^{\circ}11'11,1111'' + 20' * n$
<i>Азимут</i>	$A12 = 1^{\circ}01'01,111'' + 1^{\circ} * n$
<i>Довжина</i>	$S = 58000 - 450 * n$

де n – номер студента за списком в журналі.

Теоретичний матеріал:

По геодезичним координатам початкової точки B1, L1, прямому азимуту A12 та відстані S обчислити геодезичні координати кінцевої точки B2, L2 та обернений азимут A21.

Робочі формули:

$\begin{cases} B2 = B1 + \frac{1}{6}(\Delta B1 + 4\Delta B3 + \Delta B4) \\ L2 = L1 + \frac{1}{6}(\Delta L1 + 4\Delta L3 + \Delta L4) \\ A2 = A1 + \frac{1}{6}(\Delta A1 + 4\Delta A3 + \Delta A4) \end{cases}$	(78)
$\begin{aligned} \Delta B_i &= S0 V_i^2 \cos \alpha_i \\ \Delta L_i &= S0 V_i \frac{\sin \alpha_i}{\cos \varphi_i} \\ \Delta A_i &= \Delta L_i \sin \varphi_i \end{aligned}$	(79)
$\begin{aligned} V_i &= \frac{1 + 0.6\gamma_i}{1 + 0.2\gamma_i} \\ \gamma_i &= \beta \cos^2 \varphi_i \\ S0 &= 0.0322304S \\ \beta &= 1.25e'^2 \end{aligned}$	(80)

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт
з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»**

Для еліпсоїда Красовського
 $C=6399698,9\text{м}$ $\beta=0,00842316$

В рівняннях 79 використовуються позначення α_i і φ , які необхідно взяти з таблиці 18 та 19:

Таблиця 18

α_1	$A1$
α_2	$A1 + 0,5\Delta A1$
α_3	$A1 + 0,25(\Delta A1 + \Delta A2)$
α_4	$A1 - \Delta A2 + 2\Delta A3$
α_5	$A1 + 1/27(7\Delta A1 + 10\Delta A2 + \Delta A3)$
α_6	$A1 + 1/625(28\Delta A1 - 125\Delta A2 + 546\Delta A3 + 54\Delta A4 - 378 \Delta A5)$

Таблиця 19

φ_1	$B1$
φ_2	$B1 + 0,5\Delta B1$
φ_3	$B1 + 0,25(\Delta B1 + \Delta B2)$
φ_4	$B1 - \Delta B2 + 2\Delta B3$
φ_5	$B1 + 1/27(7\Delta B1 + 10\Delta B2 + \Delta B3)$
φ_6	$B1 + 1/625(28\Delta B1 - 125\Delta B2 + 546\Delta B3 + 54\Delta B4 - 378 \Delta B5)$

До захисту подається практична робота, яка складається із:

- 1) титульного аркуша (додаток 1);
- 2) теоретичної частини практичної роботи (подання теоретичного матеріалу по темі практичної роботи з описом всіх використаних формул у розрахунках);
- 3) практичної частини роботи (аркуш з розрахунками в програмі Microsoft Excel та аркуш в режимі «Показати формули» (Showformulas).

Рекомендована література:

1. Закатов П. С. Курс высшей геодезии / П. С. Закатов // Перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – Изд. 4. – 511 с.
2. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : Учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.

ДОДАТОК 1

**ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ**

ФАКУЛЬТЕТ ЕКОНОМІЧНИХ НАУК

КАФЕДРА УПРАВЛІННЯ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

**з дисципліни «Вища та супутникова геодезія»
на тему:**

«Визначення розмірів та площі знімальної трапеції»

Виконав:

Студент 3 курсу, групи 318
денної форми навчання
Фромольс В. О.

Перевірив:

ст. викладач Анисенко О. В.

УМОВНІ СКОРОЧЕННЯ

WGS (World Geodetic System) – світова геодезична мережа;

ПЗ – параметри Землі 1990 року;

ШСЗ – штучний супутник Землі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко Е. Г. Высшая геодезия. Сфероидическая геодезия. – М. : Картгеоцентр-Геодизиздат, 2002. – Часть II. – 144 с.
2. Островський А. Л. Геодезія.. Топографія : навч. посіб. / А. Л. Островський, О. І. Мороз, З. Р. Таргачинський, І. Ф. Гарасимчук. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011. Частина I. – 440 с.
3. Печенюк О. О. Вища геодезія : навч. посіб. / О. О. Печенюк. – Чернівці : «Рута», 2006. – Частина 1. – 99 с.
4. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) : учебное пособие для вузов / Н. В. Яковлева, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – М., Недра, 1982. – 368 с.
5. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України затверджені Постановою Кабінету Міністрів України від 8 червня 1998 р. № 844.

Навчальне видання

О. В. Анисенко

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
з дисципліни
«ВИЩА ТА СУПУТНИКОВА ГЕОДЕЗІЯ»**

Галузь знань 19 «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Випуск 249

Редактор, технічний редактор, комп'ютерна верстка *Л. Бернацька*.
Друк *С. Волинець*. Фальцювально-палітурні роботи *О. Кутова*.

Підп. до друку 21.11.2017.
Формат 60x84¹/₁₆. Папір офсет.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Ум. друк. арк. 4,65. Обл.-вид. арк. 1,4.
Тираж 20 пр. Зам. № 5305.

54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.
Тел.: 8 (0512) 50-03-32, 8 (0512) 76-55-81, e-mail: rector@chmnu.edu.ua.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3460 від 10.04.2009.