

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою

Кафедра геодезії та картографії

05-04-137М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних і самостійних робіт з навчальної
дисципліни **«Геодезія» частина 2 «Геодезичні засічки»**
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за
освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій»
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» усіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості ННІАЗ
Протокол №12 від 20.02.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки до виконання лабораторних і самостійних робіт з навчальної дисципліни «Геодезія» частина 2 «Геодезичні засічки» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» усіх форм навчання. [Електронне видання] / Янчук О. Є., Трохимець С. М., Прокопчук А. В., Лагоднюк О. А., Німкович Р. С. – Рівне : НУВГП, 2024. – 59 с.

Укладачі:

Янчук О. Є., к.т.н., доцент кафедри геодезії та картографії НУВГП;

Трохимець С. М., ст. викл. кафедри геодезії та картографії НУВГП;

Прокопчук А. В., ст. викл. кафедри геодезії та картографії НУВГП;

Лагоднюк О. А., к.т.н., доцент, заступник ректора з розвитку інформаційних систем, керівник офісу цифрової трансформації Українського католицького університету;

Німкович Р. С., старший лаборант, який має повну вищу освіту, навчально-наукової лабораторії «Геодезії та землеустрою» кафедри геодезії та картографії НУВГП.

Відповідальний за випуск:

Янчук Р. М., к.т.н., доцент, завідувач кафедри геодезії та картографії НУВГП.

Керівник групи забезпечення спеціальності:

Янчук Р. М., к.т.н., доцент, завідувач кафедри геодезії та картографії НУВГП.

© О. Є. Янчук, С. М. Трохимець,
А. В. Прокопчук, О. А. Лагоднюк,
Р. С. Німкович, 2024

© Національний університет
водного господарства та
природокористування, 2024

ЗМІСТ

ЗМІСТ	3
ПЕРЕДМОВА	4
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	5
Лабораторна робота №1 Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів та способом кругових прийомів	5
Лабораторна робота №2 Обернена кутова засічка.....	23
Лабораторна робота №3 Прив'язка двох точок за двома заданими (задача Ганзена).....	27
Лабораторна робота №4 Знесення координат з вершини знака на землю	31
Лабораторна робота №5 Пряма кутова засічка	36
Лабораторна робота №6 Зрівноваження засічок в програмному комплексі «CREDO»	42
ЛІТЕРАТУРА.....	51
ДОДАТКИ.....	52
Додаток А Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів (при використанні електронного теодоліта)	52
Додаток Б Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів (при використанні електронного теодоліта)	53
Додаток В Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.....	54
Додаток Г Журнал вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів	55
Додаток Д Варіанти завдань для оберненої кутової засічки..	56
Додаток Е Варіанти завдань для подвійної задачі Ганзена....	57
Додаток Ж Варіанти завдань для знесення координат на землю.....	58
Додаток К Варіанти завдань для прямої кутової засічки	59

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки складено відповідно до програми навчальної дисципліни «Геодезія» та призначено для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» усіх форм навчання.

Друга частина методичних вказівок до лабораторних занять з дисципліни має за мету ознайомити студентів з методикою вимірювання кутів способом прийомів та способом кругових прийомів. Наведено схеми вимірювань основних геодезичних засічок: обернена, пряма, знесення координат на землю, задача Ганзена. В кінці лабораторних робіт наведені завдання для самостійного виконання, а також контрольні запитання для опрацювання матеріалу, що дозволяє студентам набути обсяг знань, потрібних для успішного виконання лабораторних робіт та їх захисту.

Для реалізації поставлених завдань застосовується широкий спектр технічного обладнання та спеціалізованих програмних продуктів. У методичних вказівках наведено послідовність виконання лабораторних робіт та приклади отриманих результатів.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторна робота №1

Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів та способом кругових прийомів

Мета: засвоїти методику та навчитись вимірювати горизонтальні кути способом прийомів та способом кругових прийомів з використанням оптичного та електронного теодолітів.

Завдання: виміряти горизонтальні кути між вказаними пунктами теодолітом типу Т2, SOUTH ET02 або рівноточним.

Теоретичні відомості

Принцип вимірювання горизонтальних кутів полягає в тому, що, залишаючи лімба теодоліта нерухомим і обертаючи аліададу, наводять зорову трубу послідовно на всі візирні цілі (від першої до останньої) і кожного разу фіксують при цьому відліки з лімба і мікрометрів. Для контролю вимірювань в кожному півприйомі трубу повторно наводять на початковий напрям і знову беруть відліки з лімба і мікрометра, тобто виконують «замикання горизонту». Вимірювання горизонтальних кутів, коли на пункті є три або більше напрямів та проводиться «замикання горизонту» називається **способом кругових прийомів**. За наявності лише двох напрямків вимірювання – горизонт можна не замикати і такий спосіб називається **спосіб прийомів** або **спосіб виміру окремого кута**.

Комплекс вимірювань, який виконується при одному положенні вертикального круга (круг ліво КЛ або круг право КП) становить один *півприйом*. Вимірювання при двох положеннях вертикального круга становлять один *прийом*.

Під час вимірювання способом окремого кута аліададу обертають тільки за ходом годинникової стрілки або тільки проти ходу годинникової стрілки. При вимірюваннях круговими прийомами в першому півприйомі аліададу обертають за ходом годинникової стрілки, а в другому - в протилежному напрямку.

Для мереж згущення (4 клас, 1 та 2 розряди) Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 встановлює таку кількість прийомів, залежно від класу

(розряду) полігонометрії та точності приладу, яка наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Кількість прийомів, залежно від точності приладу та класу
(розряду) полігонометрії

Точність приладів та їх марки	Кількість прийомів		
	4 клас	1 розряд	2 розряд
1” (Т1 і рівноточні)	4	-	-
2” (Т2, Theo-010, ET02 і рівноточні)	6	2	2
5” (Т5 і рівноточні)	-	3	2

Перед початком кутових вимірювань на пункті, необхідно: захистити інструмент від дії прямих сонячних променів і від вітру, переконатися в стійкості і міцності башмаків та головки штативу. При виявленні недоліків – їх необхідно усунути. Потім слід скласти схему вимірювань та обрати добре видимий віддалений пункт за початковий. Далі складаємо таблицю робочих установок лімба, маючи на увазі, що лімб між прийомами переставляється на кут:

$$\sigma = \frac{180^{\circ}}{m} + i, \quad (1.1)$$

де m — число прийомів; $i = 10'$ або $5'$.

Результати вимірювання окремих кутів або напрямків на пунктах полігонометрії мають бути в межах допусків, що наведені в табл.1.2.

Під час вимірювання горизонтальних кутів наведення виконують на вертикальну вісь симетрії марки. Причому, прилад та марки повинні центруватися з точністю не гірше 1 мм.

Таблиця 1.2

Допустимі розходження при вимірюванні кутів різними
приладами

Елементи вимірювань до яких відносяться допуски	Типи інструментів		
	T1 і рівноточні	T2, Theo-010, ET02 і рівноточні	T5 і рівноточні
Розходження між значеннями одного й того ж кута, отриманого з двох півприймів	6"	8"	0,2'
Коливання значень кута, отриманих з різних прийомів	5"	8"	0,2'
Розходження між результатами спостережень на початковий напрям на початку і в кінці півприйому	6"	8"	0,2'
Коливання напрямів в окремих прийомах, приведенних до спільного нуля	5"	8"	0,2'

Послідовність спостережень на станції та опрацювання журналу під час вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів оптичним теодолітом

Розглянемо спосіб прийомів на прикладі вимірювання окремого кута в одній з навчальних аудиторій (рис. 1.1). Теодоліт встановлений на пункті (стовпі) ст.4. Необхідно виміряти кути між напрямками на пункти (віхи) 3 та 1. Всі виміри виконують тільки за ходом годинникової стрілки або тільки проти ходу годинникової стрілки.

Вимірювання виконуються у такій послідовності:

1. Встановлюють теодоліт над вершиною кута (ст.4), центрують та приводять у робоче положення.

2. Наводять візирну вісь зорової труби при КЛ на розташовану ліворуч від вершини кута віху 3 (напрямок ст.4-3).

3. У способі прийомів не обов'язково виставляти близький до нуля відлік під час наведення на початкову точку, однак така дія полегшує процес обчислень. Тому рекомендується встановити лімба і оптичний мікромір на відлік, близький до нуля. Для цього спочатку прокручуючи гвинт зміщення лімба

встановлюємо відлік близький до нуля, потім гвинтом мікрометра ретельно суміщають зображення штрихів протилежних країв лімба 0 і 180° , після чого беруть відлік і записують у журнал (графи 3, 4 табл. 1.3).

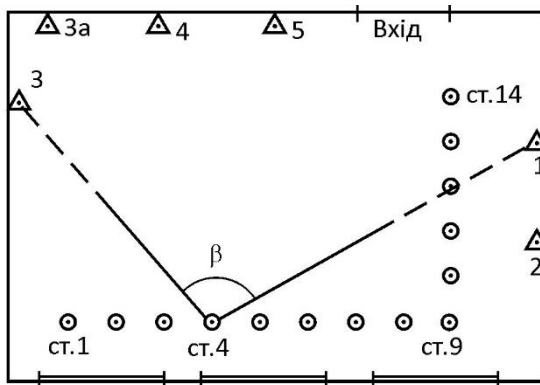


Рис. 1.1. Схема вимірювання кута способом прийомів:

△ – пункт з відомими координатами; ⊙ – пункт з невідомими координатами

Таблиця 1.3

ЖУРНАЛ

вимірювання кутів способом прийомів

Пункт *ст.4*

Прийом 1

Теодоліт 2Т2 №103115

Погода: хмарно, вітер помірний

Дата: 19 квітня 2023 р.

Видимість: задовільна

Спостерігав: А. Шумейко

Обчислював: М. Сільковський

№ прийому	Назва напр.	Круг	Відліки з лімба	Відліки з мікрометра		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	2С= КЛ-КП	$\frac{(КЛ+КП)}{2}$	Значення кутів
				a_1	a_2				
				1	2	3	4	5	
1	4-3	КЛ КП	0°00' 180 00	46,2" 57,4	47,2" 58,4	46,7" 57,9	-11,2"	52,3"	113°52'41,0"
	4-1	КЛ КП	113 53 293 53	27,1 39,6	26,5 40,0	26,8 39,8	-13,0"	33,3"	

4. Зміщують гвинтом мікрометра зображення суміщених штрихів і знову їх суміщають, беруть відлік і записують у журнал

(графа 5 табл. 1.3); різниця двох відліків не повинна перевищувати 3"; рекомендується кінцеве суміщення штрихів виконувати прокручуванням гвинта мікрометра за ходом годинникової стрілки (на вгвинчування).

5. Відкріпляють алідаду, наводять візирну вісь труби на розташовану праворуч віху (напряма ст.4-1). Знову знімають відліки при двох суміщеннях, які записують у журнал. На цьому закінчують вимірювання у першому півприйомі (при КЛ).

6. Переводять зорову трубу через zenit та при КП проводять виміри другого півприйому. Наводять вісь зорової труби на початковий напрямок – віху 3 (напряма ст.4-3) і при двох суміщеннях штрихів знімають відліки, які записують в журнал.

7. Відкріпляють алідаду, наводять візирну вісь труби на розташовану праворуч віху (напряма ст.4-1). Знову знімають відліки при двох суміщеннях, які записують у журнал.

Такі дії становлять один прийом вимірювань. Якщо вимірювання кутів необхідно виконати в декілька прийомів, то повторюємо дії 2-7, змістивши перед кожним новим прийомом лімба на кут, що обчислюється за формулою (1.1). Наприклад, під час вимірювання кутів в полігонометрії 4 класу теодолітами Т2 чи 2Т2 шістьма прийомами, в другому прийомі встановлюють відлік під час наведення на початкову віху близьким до $30^{\circ}05'$, в третьому – до $60^{\circ}10'$ і т.д. Необхідний відлік встановлюється обертанням гвинта зміщення лімба.

В кожному прийомі виконують *наступні обчислення*. У графі 6 обчислюють середні значення з першого і другого суміщення за кожним напрямком. У графі 7 знаходять величину подвійної колімаційної похибки $2C=КЛ-КП$. У графі 8 отримують середні значення з величин, що отримали в графі 6 (при умові, що різниця градусів та минут при КЛ і КП становить рівно 180° ; якщо ця різниця становить $179^{\circ}59'$ або $180^{\circ}01'$ то зайва мінута при обчисленнях у графах 7 і 8 рахується як додаткових $60''$). У графі 9 обчислюють значення кута з окремого прийому як різницю правого та лівого напрямків: $113^{\circ}53'33,3''-0^{\circ}00'52,3''$. Правий та лівий напрямки визначають стаючи на станції обличчям до кута, що вимірюється.

Кінцеве значення кута обчислюють як середнє арифметичне з кутів, виміряних в окремих прийомах. Допуски вказані в табл. 1.2.

Послідовність спостережень на станції під час вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів оптичним теодолітом

Розглянемо цей спосіб на прикладі вимірювання трьох напрямків в одній з навчальних аудиторій (рис. 1.2). Теодоліт встановлений на пункті (стовпі) ст.4. Необхідно виміряти кути між напрямками на пункти (віхи) 8, 2, 4.

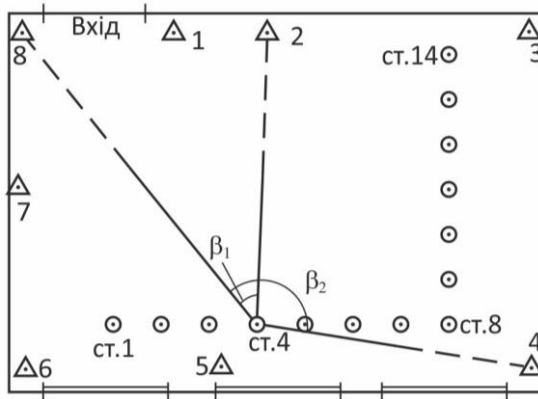


Рис.1.2. Схема вимірювання кута способом кругових прийомів

Перший прийом вимірювання:

1. Встановлюють теодоліт над вершиною кута (ст.4), центрують та приводять у робоче положення.

2. Наводять візирну вісь зорової труби при КЛ на віху 8 (напрямок ст.4-8), напрям на яку при вимірюваннях приймають за початковий.

3. Встановлюють лімба і оптичний мікрометр на відлік, близький до нуля; для цього спочатку прокручуючи гвинт зміщення лімба встановлюємо відлік близький до нуля, потім гвинтом мікрометра ретельно суміщають зображення штрихів

протилежних країв лімба 0 і 180° , після чого беруть відлік (1) і записують у журнал (графи 3, 4 табл. 1.4).

Таблиця 1.4

ЖУРНАЛ

вимірювання кутів способом кругових прийомів
(опрацювання з врахуванням «затягування» лімба)

Пункт ст.4

Прийом 1

Теодоліт 2Т2 №103115

Погода: ясна, слабкий вітер

Дата: 19 квітня 2023 р.

Видимість: хороша

Спостерігав: М. Вознюк

Обчислював: М. Гурій

Назва напрямку	Круг	Відліки з штрихів лімба	Відліки з мікрометра		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	$2C = \text{КЛ} - \text{КП}$	$(\text{КЛ} + \text{КП})/2$	Значення напрямків
			a_1	a_2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ст.4-8	КЛ	$0^{\circ}01'$	$08,3''(1)$	$09,2''(2)$	$08,8''$	$-18,4''$	$0,0''$	$0^{\circ}00'00,0''$
	КП	$180^{\circ}01'$	$26,0(15)$	$28,3(16)$	$27,2$		$18,0''$	
ст.4-2	КЛ	76 09	29,8 (3)	31,0 (4)	30,4	$-18,2$	$-0,4$	76 08 21,1
	КП	256 09	48,1 (13)	49,0 (14)	48,6		39,5	
ст.4-4	КЛ	170 08	39,6 (5)	40,9 (6)	40,2	$-14,3$	$-0,7$	170 07 28,7
	КП	350 08	54,0 (11)	55,0 (12)	54,5		47,4	
ст.4-8	КЛ	0 01	10,5 (7)	10,0 (8)	10,2	$-17,8$	$-1,1$	0 00 00,0
	КП	180 01	27,0 (9)	29,1 (10)	28,0		19,1	

$$\Delta_{\text{КЛ}} = +1,4; \quad \Delta_{\text{КП}} = +0,8; \quad \Delta_{\text{ср}} = +1,1''$$

4. Зміщують гвинтом мікрометра зображення суміщених штрихів і знову їх суміщають, беруть відлік (2) і записують у журнал (графа 5 табл. 1.4); різниця двох відліків не повинна перевищувати $3''$; рекомендується кінцеве суміщення штрихів виконувати прокручуванням гвинта мікрометра за ходом годинникової стрілки (на вгвинчування).

5. Відкріплюють алідаду, за годинниковою стрілкою наводять візирну вісь труби на другу (напрямок ст.4-2), а потім на третю (напрямок ст.4-4) віхи; кожен раз при двох суміщеннях беруть відліки (3)-(6), які записують у журнал.

6. Наводять візирну вісь труби знову на початковий напрям ст.4-8, при двох суміщеннях штрихів беруть відліки (7), (8) та

записують в журнал. На цьому закінчують вимірювання у першому півприйомі.

Повторне наведення на першу візирну ціль називається **замиканням горизонту**. Цю дію проводять для того, щоб визначити, чи зберіг лімба в процесі роботи нерухомих стан. Розходження між результатами спостережень на початковий напрям на початку і в кінці півприйому наведено в табл. 1.2 і не повинно перевищувати 8" (для теодолітів 2" точності).

Після переведення зорової труби через зеніт (при КП) проводять виміри другого півприйому (відліки записують знизу вгору).

7. Обертаючи алідаду наводимо вісь зорової труби на початковий напрям і при двох суміщеннях штрихів знімають відліки (9), (10), які записують в журнал у рядок, що відповідає другому наведенню на цей напрям в попередньому півприйомі (останній рядок).

8. Відкріпляють алідаду та наводять візирну вісь труби (обертаючи алідаду проти ходу годинникової стрілки) на третю, другу і знову на першу віху. Знімають відліки (11)-(16) кожен раз при двох суміщеннях штрихів і записують в журнал.

Другий і наступні прийоми вимірювання напрямків виконують у тій же послідовності, як і перший, але для послаблення впливу систематичних похибок поділок лімба, його повертають на кут, розрахований за формулою (1.1). Необхідний відлік встановлюється гвинтом зміщення лімба.

Опрацювання журналу вимірювання кутів способом кругових прийомів

У кожному прийомі виконують наступні обчислення. У графі 6 (табл. 1.4) обчислюють середні значення з першого і другого суміщення за кожним напрямком. У графі 7 знаходять величину подвійної колімаційної похибки $2C$. Стабільність величини $2C$ (допуск $\pm 12''$) є показником якості вимірів. У графі 8 отримують середні значення з величин, що отримали в графі 6 (при умові, що різниця градусів та мінут при КЛ і КП становить рівно 180° ; якщо ця різниця становить $179^\circ 59'$ або $180^\circ 01'$ то зайва мінута при обчисленнях у графах 7 і 8 рахується як

додаткових 60’’). В графі 9 обчислюють приведені до спільного нуля напрямки.

Слід зауважити, що існують два основних способи опрацювання журналу, залежно від причини незамикання горизонту. Перша причина полягає в сукупному впливі випадкових похибок відліків шкали та наведення зорової труби на візирні цілі. У цьому випадку опрацювання полягає в знаходженні середніх значень відліків та різниць між середніми значеннями відліків кожного напрямку та середнім відліком першого напрямку. Друга причина полягає у «затягуванні» лімба алідадою. Якщо таке «затягування» існує, то воно буде прямо пропорційне величині кута повороту алідади. Тому при опрацюванні в різні напрямки необхідно вводити різні за величиною поправки, залежно від величини незамикання горизонту у прийомі.

Опрацювання з врахуванням «затягування» лімба

При опрацюванні з врахуванням «затягування» лімба (табл. 1.4) отримують величини незамикання початкових напрямків в прийомі при КЛ – $\Delta_{\text{КЛ}} = 10,2 - 8,8 = +1,4''$, при КП – $\Delta_{\text{КП}} = 28,0 - 27,2 = +0,8''$ і середнє $\Delta_{\text{ср}} = 19,1 - 18,0 = +1,1''$, як різницю між повторним вимірюванням і першим. Ці величини записують в журнал в кінці спостережень прийому.

Якщо величина $\Delta_{\text{ср}}$ виходить більшою 0,1'', то її необхідно розподілити з протилежним знаком на всі напрямки пропорційно їх номерам. Поправки в середні значення напрямків при незамиканні обчислюються:

$$\sigma_i = \frac{-\Delta_{\text{ср}}}{n'} (i - 1), \quad (1.2)$$

де n' – число напрямків (перший та останній напрямки вважаються за один), i – порядковий номер рядка в прийомі.

Обчислені поправки записуються у графі 8, над обчисленими середніми значеннями відліків. У нашому прикладі (табл. 1.4):

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{-1,1}{3} (1 - 1) = 0,0'' \\ \sigma_2 &= \frac{-1,1}{3} (2 - 1) = -0,4'' \end{aligned}$$

$$\sigma_3 = \frac{-1,1}{3}(3 - 1) = -0,7''$$

$$\sigma_4 = \frac{-1,1}{3}(4 - 1) = -1,1''$$

Значення приведених до спільного нуля напрямків (графа 9) отримують, віднімаючи відлік на перший напрям з кожного наступного, виправленого на поправку σ_i .

$$0^{\circ}01'18,0'' - 0,0'' - 0^{\circ}01'18,0'' = 0^{\circ}00'00,0''$$

$$76^{\circ}09'39,5'' - 0,4'' - 0^{\circ}01'18,0'' = 76^{\circ}08'21,1''$$

$$170^{\circ}08'47,4'' - 0,7'' - 0^{\circ}01'18,0'' = 170^{\circ}07'28,7''$$

$$0^{\circ}01'19,1'' - 1,1'' - 0^{\circ}01'18,0'' = 0^{\circ}00'00,0''$$

Коливання напрямків в окремих прийомах не повинно перевищувати 8''. За умови перевищення допусків, вказаних в таблиці 1.2 відповідні прийоми або всі прийоми перероблюються. Повторні вимірювання виконують після закінчення спостережень основної програми. Якщо напрямки, отримані з різних прийомів, відрізняються на більші похибки, то спостереження перероблюють як за максимальними так і за мінімальними значеннями. Вся програма вимірювання кутів на пункті виконується заново, якщо кількість прийомів, що підлягають переробці, буде більше 30%.

Кінцеве значення напрямків отримують як середньоарифметичне вимірне в окремих прийомах.

Опрацювання без врахуванням «затягування» лімба

В процесі опрацювання без врахування «затягування» лімба (табл. 1.5) обчислюємо графи 6-8 як описано вище. Крім того, у графі 8 розраховуємо середнє значення початкового відліку з першого та останнього наведення:

$$(0^{\circ}01'18'' + 0^{\circ}01'19,1'')/2 = 0^{\circ}01'18,5''$$

Значення приведених напрямків розраховуємо як різницю середнього значення відліку на даний напрям та середнього значення відліку на початковий напрям (приведений початковий та кінцевий напрями становитимуть $0^{\circ}00'00''$):

$$76^{\circ}09'39,5'' - 0^{\circ}01'18,5'' = 76^{\circ}08'21,0''$$

$$170^{\circ}08'47,4'' - 0^{\circ}01'18,5'' = 170^{\circ}07'28,9''$$

Таблиця 1.5

вимірювання кутів способом кругових прийомів
(опрацювання без врахування «затягування» лімба)

Пункт ст.4

Прийом 1

Теодоліт 2Т2 №103115

Погода: ясна, слабкий вітер

Дата: 19 квітня 2023 р.

Видимість: хороша

Спостерігав: М. Вознюк

Обчислював: М. Гурій

Назва напрямку	Круг	Відліки з штрихів лімба	Відліки з мікрометра		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	2C=КЛ-КП	(КЛ+КП)/2	Значення напрямків
			a ₁	a ₂				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ст.4-8	КЛ	0°01'	08,3''	09,2''	08,8''	-18,4''	0°01'18,5''	0°00'00,0''
	КП	180°01'	26,0	28,3	27,2		18,0''	
ст.4-2	КЛ	76 09	29,8	31,0	30,4	-18,2	39,5	76 08 21,0
	КП	256 09	48,1	49,0	48,6			
ст.4-4	КЛ	170 08	39,6	40,9	40,2	-14,3	47,4	170 07 28,9
	КП	350 08	54,0	55,0	54,5			
ст.4-8	КЛ	0 01	10,5	10,0	10,2	-17,8	19,1	0 00 00,0
	КП	180 01	27,0	29,1	28,0			

Опис панелі керування електронного теодоліта SOUTH ET02

Під час роботи з електронними теодолітами, користувач взаємодіє із приладом через панель керування (рис. 1.3).

Кожна клавіша на панелі має дві функції. В звичайному режимі інструмент виконує основні функції, які підписані на клавішах (табл. 1.6). Додаткові функції підписані над клавішами, і виконуються після натискання клавіші [FUNC].

Всі записи виводяться на рідкокристалічний дисплей. Опис символів дисплею, представлений у табл. 1.7.



Рідкокристалічний дисплей

Клавіші керування




Основна функція

Додаткова функція

Рис. 1.3. Панель керування приладом

Таблиця 1.6

Основні та додаткові функції клавіш

Клавіша	Функція I (основна)	Функція II (додаткова)
	Вибір горизонтального кута (лівий або правий)	Збереження даних
	Утримування горизонтального кута (натиснути двічі)	Багаторазове вимірювання кута
	Встановлення горизонтального кута рівним «0» (натиснути двічі)	Експорт значення поточного кута
	Перемикання між режимами	Підсвічування сітки ниток та екрана (тримати 3 секунди)
	Вертикальний кут/ухил у %	Вимірювання віддалі (працює за наявності далекоміра)
	Ввімкнення/вимкнення живлення	

Таблиця 1.7

Опис символів дисплею

Символ	Опис	Символ	Опис
VA	Вертикальний кут	%	Ухил у %
HA	Горизонтальний кут	G	Кут в градах
H(R)	Відрахування горизонтального кута за годинниковою стрілкою	BAT	Індикатор заряду батареї
H(L)	Відрахування горизонтального кута проти годинникової стрілки	HOLD	Режим фіксації кута
TILT	Компенсатор		Мітка автоматичного вимикання
RPT	Режим повтору вимірів	SHIFT	Режим додаткових функцій

Підготовка приладу до вимірювань

1. Приведіть прилад у робоче положення (виконайте його центрування та горизонтування).
2. Ввімкніть прилад, натиснувши клавішу **[POWER]** та утримуючи її поки на екрані не з'являться символи.

Послідовність спостережень на станції під час вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів електронним теодолітом SOUTH-ET02

Всі результати вимірів потрібно записувати у журнал. Оскільки, під час використання електронного теодоліта немає потреби повторно суміщати штрихи лімба, можна користуватися журналом спрощеної форми (табл. 1.8).

Вимірювання виконуються у такій послідовності:

1. Наводимо зорову трубу при КЛ на лівий пункт 3 (рис. 1.1).
2. Встановлюємо відлік за горизонтальним кругом рівним нулю (позиція 1 табл. 1.8). Для цього двічі натискаємо на клавішу

[OSET]. Перемикання між лівим та правим напрямками відлічування кутів здійснюється натисканням клавіші [L/R]. Залежно від того який кут було вибрано, на дисплеї будуть відображатись наступні позначення горизонтального кута: для лівого (відлічування проти руху годинникової стрілки) – HL; для правого (відлічування за рухом годинникової стрілки) – HR.

Таблиця 1.8

ЖУРНАЛ

вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів

Дата: 09.09.2023 р.

Теодоліт: SOUTH-ET02 № T185174

Пункт: ст.4

Спостерігав: О. Янчук

Початок: 8^h15^m

Записував: А. Прокопчук

Кінець: 8^h20^m

Погода: похмуро, вітряно

№ прийому	Назва напр.	Круг	Відлік	2с	КЛ+КП 2	Значення кута
1	4-3	КЛ	0°00'00'' (1)	-3	0°00'01,5''	113°52'41,5''
		КП	180°00'03'' (3)			
	4-1	КЛ	113°52'42'' (2)	-2	113°52'43''	
		КП	293°52'44'' (4)			

3. Відпускаємо закріпний гвинт алідади та повертаємо інструмент за годинниковою стрілкою, навівши зорову трубу на правий пункт 1. Записуємо значення відліку при КЛ за горизонтальним кутом в журнал (2).

4. Переводимо зорову трубу через зеніт та наводимо її на пункт 3. Занотовуємо значення відліку при КП за горизонтальним кутом в журнал (3).

5. Наводимо трубу на правий пункт 1 та записуємо значення кута при КП у журнал (4).

Якщо вимірювання кутів необхідно виконати в декілька прийомів, то слід повторити дії 1-5, змістивши перед кожним новим прийомом лімба на кут, що обчислюється за формулою

(1.1). Для того щоб виставити необхідний відлік, наприклад $60^{\circ}05'00''$, потрібно:

1. Відпустити закріпний гвинт аліади і, повертаючи зорову трубу в горизонтальній площині, встановити грубо відлік, що дорівнює 60° , а далі точно навідним гвинтом – $60^{\circ}05'00''$.

2. Зафіксувати на дисплеї цей відлік, двічі натиснувши клавішу [HOLD] (на екрані з'явиться значок «HOLD»).

3. Навести зорову трубу на напрям, якому відповідає цей відлік, наприклад на лівий пункт 3. Для відміни фіксації ще раз натиснути на клавішу [HOLD].

Опрацювання журналу вимірювань горизонтальних кутів способом прийомів електронним теодолітом

1. Вираховують значення подвійної колімації $2c=КЛ-КП$ (графа 4 табл 1.8);

2. Вираховують середній відлік з двох кругів КЛ та КП (графа 5);

3. Обчислюють значення кута з окремого прийому (графа 6) як різницю правого та лівого напрямків: $113^{\circ}52'43,0''-0^{\circ}00'01,5''$.

4. Знаходять середнє значення кута з декількох прийомів.

Послідовність спостережень на станції під час вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів електронним теодолітом SOUTH-ET02

Всі результати вимірів записуються у журнал спрощеної форми (табл. 1.9), оскільки, немає потреби повторно суміщати штрихи лімба.

Вимірювання виконуються у такій послідовності:

1. Наводять зорову трубу при КЛ на віху 8 (рис. 1.2) (напрямок ст.4-8), напрям на яку при вимірюваннях приймають за початковий.

2. Встановлюють відлік за горизонтальним кругом рівним нулю. Для цього двічі натискаємо на клавішу [OSET].

3. Відкріпляють закріпний гвинт алідади та за годинниковою стрілкою наводять візирну вісь труби на другу (напряв ст.4-2), а потім на третю (напряв ст.4-4) віхи, знімаючи відліки, які записують у журнал.

Таблиця 1.9

ЖУРНАЛ

вимірювання кутів способом кругових прийомів
(опрацювання з врахуванням «затягування» лімба)

Дата: 10.09.2023 р.

Теодоліт: SOUTH-ET02 № T185174

Пункт: ст.4

Спостерігав: О. Янчук

Початок: 8^h15^m

Записував: А. Прокопчук

Кінець: 8^h30^m

Погода: похмуро, вітряно

Назва напрямку	Круг	Відлік	2C=КЛ-КП	$\frac{КЛ+КП}{2}$	Значення напрямків
1	2	3	4	5	6
ст.4-8	КЛ КП	0°00'00'' (1) 180 00 02 (8)	-2''	0,0'' 0°00'01,0''	0°00'00''
ст.4-2	КЛ КП	76 08 23 (2) 256 08 26 (7)	-3	-1,0 76 08 24,5	76 08 22,5
ст.4-4	КЛ КП	170 07 32 (3) 350 07 36 (6)	-4	-2,0 170 07 34,0	170 07 31,0
ст.4-8	КЛ КП	0 00 02 (4) 180 00 06 (5)	-4	-3,0 0 00 04,0	0 00 00,0

$$\Delta_{КЛ} = +2,0; \Delta_{КП} = +4,0; \Delta_{ср} = +3,0''$$

4. Наводять візирну вісь труби знову на початковий напряв ст.4-8, беруть відліки та записують в журнал. На цьому закінчують вимірювання у першому півприйомі.

5. Переводять зорову трубу через zenit та при КП проводять виміри другого півприйому (відліки записують знизу вгору). Наводять візирну вісь труби на початковий напряв ст.4-8, беруть відліки та записують в журнал у рядок, що відповідає другому наведенню на цей напряв в попередньому півприйомі (останній рядок).

6. Відкріпляють алідаду та наводять вісь зорової труби (обертаючи алідаду проти ходу годинникової стрілки) на третю,

другу і знову на першу віху. Знімають відліки і записують в журнал.

Другий і наступні прийоми вимірювання напрямків проводять в тій же послідовності, як і перший, встановивши відлік вирахований за формулою (1.1).

Опрацювання журналу вимірювань горизонтальних кутів способом кругових прийомів електронним теодолітом з врахуванням «затягування» лімба

1. Вираховують значення подвійної колімації $2c = \text{КЛ} - \text{КП}$ (графа 4 табл 1.9);

2. Вираховують середній відлік з двох кругів КЛ та КП (графа 5);

3. Обчислюють величини незамикання початкових напрямків в прийомі при КЛ – $\Delta_{\text{КЛ}} = 2,0 - 0,0 = +2,0''$, при КП – $\Delta_{\text{КП}} = 6,0 - 2,0 = +4,0''$ і середнє $\Delta_{\text{ср}} = 4,0 - 1,0 = +3,0''$, як різницю між повторним вимірюванням і першим. Ці величини записують в журнал в кінці спостережень прийому.

4. Якщо величина $\Delta_{\text{ср}}$ виходить більшою $0,1''$, то її необхідно розподілити з протилежним знаком на всі напрямки пропорційно їх номерам. Поправки в середні значення напрямків при незамиканні обчислюються за формулою (1.2)

$$\sigma_1 = \frac{-3,0}{3}(1 - 1) = 0,0''$$

$$\sigma_2 = \frac{-3,0}{3}(2 - 1) = -1,0''$$

$$\sigma_3 = \frac{-3,0}{3}(3 - 1) = -2,0''$$

$$\sigma_4 = \frac{-3,0}{3}(4 - 1) = -3,0''$$

Обчислені поправки записуються у графі 5, над обчисленими середніми значеннями відліків.

5. Значення приведених до спільного нуля напрямків (графа 6) отримують, віднімаючи відлік на перший напрям з кожного наступного, виправленого на поправку σ_i .

$$0^{\circ}00'01,0'' - 0,0'' - 0^{\circ}00'01,0'' = 0^{\circ}00'00,0''$$

$$76^{\circ}08'24,5'' - 1,0'' - 0^{\circ}00'01,0'' = 76^{\circ}08'22,5''$$

$$170^{\circ}07'34,0'' - 2,0'' - 0^{\circ}00'01,0'' = 170^{\circ}07'31,0''$$

$$0^{\circ}00'04,0'' - 3,0'' - 0^{\circ}00'01,0'' = 0^{\circ}00'00,0''$$

Якщо допуски вказані в таблиці 1.2 не виконуються, відповідні прийоми або всі прийоми перероблюються. Кінцеве значення напрямків отримують як середньоарифметичне вимірне в окремих прийомах.

Бланки журналів для проведення вимірювань наведено у додатках А-Г.

Завдання для самостійної роботи. Розглянути будову та характеристики 5 приладів, які можуть використовуватися для вимірювання кутів у полігонометрії 4 класу, 1 та 2 розрядів.

Запитання для контролю.

1. Який порядок наведення на візирні цілі при КЛ і КП у способі кругових прийомів?
2. За якою формулою визначити кут зміщення лімбу між прийомами?
3. Що мається на увазі під замиканням горизонту?
4. Скільки мінімум напрямків має бути для використання способу кругових прийомів при вимірюванні горизонтальних кутів?
5. Як обчислюються поправки в напрямки за незамикання горизонту?
6. В якому випадку програма спостережень на пункті виконується заново?
7. При використанні теодоліта 2Т2 або рівноточного у полігонометрії 1 розряду – скільки прийомів вимірювань потрібно виконувати?
8. Яка величина допустимого незамикання горизонту?
9. Яка послідовність опрацювання журналу вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів оптичним теодолітом?
10. У яких випадках на екрані електронного теодоліта SOUTH-ET02 висвічується на дисплеї напис HOLD?
11. Яка основна відмінність журналу вимірювання горизонтальних кутів при використанні електронного теодоліта?
12. Як виставити відлік $0^{\circ}00'00''$ у початковому напрямку при роботі з електронним теодолітом SOUTH-ET02?

Лабораторна робота №2 Обернена кутова засічка

Мета: вивчити схеми та методику прив'язки способом оберненої кутової засічки.

Завдання: виміряти горизонтальні кути способом кругових прийомів на чотири вихідні пункти (задаються викладачем згідно додатку Д); обчислити координати з однократної засічки.

Теоретичні відомості

Засічки, в яких використовується мінімально необхідна кількість вихідних пунктів та вимірювань, називаються *однократними*. Засічки, в яких для отримання координат пункту використовують надлишкове число пунктів та вимірювань, називають *багатократними*.

Оберненою засічкою називається визначення положення пункту шляхом вимірювання кутів або напрямків на пункті, що визначається, на пункти, координати яких відомі. Для оберненої однократної засічки таких відомих пунктів має бути 3, для багатократної – 4 і більше.

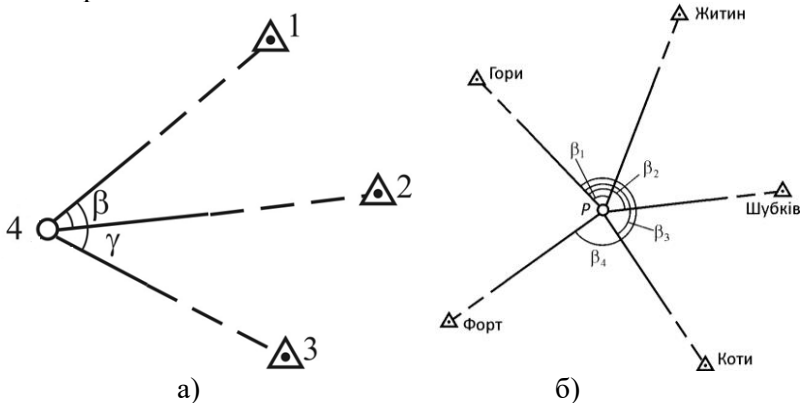


Рис. 2.1. Схема оберненої кутової засічки: а) однократної;
б) багатократної

Послідовність розв'язку однократної оберненої кутової засічки

Принцип розв'язку однократної оберненої засічки полягає в тому, що за трьома твердими точками 1, 2, 3 з координатами $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ (рис. 2.1 а) потрібно визначити координати x_4, y_4 точки 4. Для цього на точці 4 теодолітом вимірюють горизонтальні кути $1-4-2 = \beta$ і $1-4-3 = \gamma$.

Дирекційні кути ліній 1-4, 2-4, 3-4 позначимо через $\alpha_{14}, \alpha_{24}, \alpha_{34}$. Зв'язок дирекційних кутів і координат виражається формулами

$$\operatorname{tg} \alpha_{14} = \frac{y_4 - y_1}{x_4 - x_1}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{24} = \frac{y_4 - y_2}{x_4 - x_2}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{34} = \frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3},$$

звідки

$$\begin{cases} y_4 - y_1 = (x_4 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{14} \\ y_4 - y_2 = (x_4 - x_2) \operatorname{tg} \alpha_{24} \\ y_4 - y_3 = (x_4 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_{34} \end{cases} \quad (2.1)$$

Після віднімання другого і третього рівняння з першого отримаємо

$$\begin{cases} y_2 - y_1 = (x_4 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{14} - (x_4 - x_2) \operatorname{tg} \alpha_{24} \\ y_3 - y_1 = (x_4 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{14} - (x_4 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_{34} \end{cases} \quad (2.2)$$

тут $\alpha_{24} = \alpha_{14} + \beta$; $\alpha_{34} = \alpha_{14} + \gamma$ (рис. 2.1 а), отже є два невідомих x_4 і $\operatorname{tg} \alpha_{14}$.

Абсциса x_4 з першого і другого рівняння виражається так

$$x_4 = \frac{x_1 \operatorname{tg} \alpha_{14} - x_2 \operatorname{tg} \alpha_{24} + y_2 - y_1}{\operatorname{tg} \alpha_{14} - \operatorname{tg} \alpha_{24}} = \frac{x_1 \operatorname{tg} \alpha_{14} - x_3 \operatorname{tg} \alpha_{34} + y_3 - y_1}{\operatorname{tg} \alpha_{14} - \operatorname{tg} \alpha_{34}}$$

Після віднімання координат x_1 і x_2 правої і лівої частин цієї формули отримаємо прирости координат:

$$\Delta x_1 = x_4 - x_1 = \frac{(x_1 - x_2) \operatorname{tg} \alpha_{24} + y_2 - y_1}{\operatorname{tg} \alpha_{14} - \operatorname{tg} \alpha_{24}} = \frac{(x_1 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_{34} + y_3 - y_1}{\operatorname{tg} \alpha_{14} - \operatorname{tg} \alpha_{34}} \quad (2.3)$$

$$\Delta x_2 = x_4 - x_2 = \frac{(x_1 - x_2) \operatorname{tg} \alpha_{14} + y_2 - y_1}{\operatorname{tg} \alpha_{14} - \operatorname{tg} \alpha_{24}} \quad (2.4)$$

тоді

$$x_4 = x_1 + \Delta x_1 = x_2 + \Delta x_2.$$

Тангенс суми двох кутів виражається так:

$$\operatorname{tg} \alpha_{24} = \operatorname{tg}(\alpha_{14} + \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{14} + \operatorname{tg} \beta}{1 - \operatorname{tg} \beta \operatorname{tg} \alpha_{14}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{14} \operatorname{ctg} \beta + 1}{\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{tg} \alpha_{14}} \quad (2.5)$$

Аналогічно для напрямку 3-4

$$\operatorname{tg} \alpha_{34} = \operatorname{tg}(\alpha_{14} + \gamma) = \frac{\operatorname{tg} \alpha_{14} \operatorname{ctg} \gamma + 1}{\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha_{14}} \quad (2.6)$$

На основі формул (2.5) і (2.6) знаменники рівняння (2.3) приймуть вигляд

$$\operatorname{tg} \alpha_{14} - \operatorname{tg} \alpha_{24} = \frac{-(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{14})}{\operatorname{ctg} \beta + \operatorname{tg} \alpha_{14}}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{14} - \operatorname{tg} \alpha_{34} = \frac{-(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{14})}{\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha_{14}}$$

Підставляючи ці формули в рівняння (2.3), отримаємо

$$\begin{aligned} & [(x_1 - x_2) \operatorname{tg} \alpha_{24} - (y_1 - y_2)](\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{tg} \alpha_{14}) = \\ & = [(x_1 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_{34} - (y_1 - y_3)](\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha_{14}) \end{aligned}$$

Це рівняння після заміни $\operatorname{tg} \alpha_{24}$ і $\operatorname{tg} \alpha_{34}$ з формул (2.5) і (2.6) прийме вигляд

$$\begin{aligned} & (x_1 - x_2)(\operatorname{tg} \alpha_{14} \operatorname{ctg} \beta + 1) - (y_1 - y_2)(\operatorname{ctg} \beta - \operatorname{tg} \alpha_{14}) = \\ & = (x_1 - x_3)(\operatorname{tg} \alpha_{14} \operatorname{ctg} \gamma + 1) - (y_1 - y_3)(\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{tg} \alpha_{14}) \end{aligned}$$

звідки $\operatorname{tg} \alpha_{14}$ виражається формулою

$$\operatorname{tg} \alpha_{14} = \frac{(y_1 - y_2) \operatorname{ctg} \beta + (y_3 - y_1) \operatorname{ctg} \gamma + (x_2 - x_3)}{(x_1 - x_2) \operatorname{ctg} \beta + (x_3 - x_1) \operatorname{ctg} \gamma + (y_3 - y_2)} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2.7)$$

Введемо такі позначення:

$$\begin{cases} k_1 = (x_2 - x_1) \operatorname{ctg} \beta + (y_2 - y_1); & k_2 = (y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \beta - (x_2 - x_1); \\ k_3 = (x_3 - x_1) \operatorname{ctg} \gamma + (y_3 - y_1); & k_4 = (y_3 - y_1) \operatorname{ctg} \gamma - (x_3 - x_1); \end{cases} \quad (2.8)$$

Згідно вищенаведених позначень, формула (2.7) набуде вигляду

$$\operatorname{tg} \alpha_{14} = \frac{k_4 - k_2}{k_3 - k_1} \quad (2.9)$$

Тоді прирости координат будуть виражатись формулами

$$\Delta x = \frac{k_1 \operatorname{tg} \alpha_{14} - k_2}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{14}} = \frac{k_3 \operatorname{tg} \alpha_{14} - k_4}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{14}}; \quad \Delta y = \Delta x \operatorname{tg} \alpha_{14} \quad (2.10)$$

Таким чином, координати x_4, y_4 четвертої точки за трьома даними і вимірними кутами β, γ **обчислюються в такій послідовності:**

1. За формулою (2.7) або (2.9) обчислюється $\operatorname{tg} \alpha_{14}$;
2. За формулами (2.3), (2.4) або (2.10) обчислюються прирости $\Delta x_1, \Delta x_2$ і абсциса $x_4 = x_1 + \Delta x_1 = x_2 + \Delta x_2$.

3. За формулою (2.1) або (2.10) обчислюється ордината $y_4 = y_1 + (x_4 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{14} = y_2 + (x_4 - x_2) \operatorname{tg} \alpha_{24}$.

Приклад рішення задачі подано в таблиці 2.1 (за формулами (2.7-2.10)).

Таблиця 2.1

Обчислення координат *см.4* оберненою однократною засічкою
(рис. 2.1 а)

Пункт	Координати		Виміряні кути (напрямки), β , γ
	X, м	Y, м	
8 (1)	5145.359	3987.423	0°00'00"
2 (2)	5302.496	4325.667	45 46 16
3 (3)	5041.132	4704.770	102 10 53
x_2-x_1	y_2-y_1	x_3-x_1	y_3-y_1
157.137	338.244	-104.227	717.347
$ctg \beta =$	0.97343901	$ctg \gamma =$	-0.215867667
$k_1=$	491.2072857	$k_3=$	739.8462394
$k_2=$	172.1229045	$k_4=$	-50.62502364
$tg \alpha_{1ст.4} =$	-0.89586899	$\Delta x_{1ст.4}=$	-339.6131
$\Delta x'_{1ст.4}=$	-339.6131	$\Delta y_{1ст.4}=$	304.2489
$X_{см.4}=$	4805.746	$Y_{см.4}=$	4291.672

До захисту роботи необхідно представити опрацьований журнал вимірювання кутів способом кругових прийомів, схему засічки та обчислені координати шуканої точки.

Завдання для самостійної роботи. Розглянути послідовність розв'язку багатократною оберненою кутовою засічки.

Запитання для контролю.

1. Які елементи відображаються на схемі оберненої засічки? Що є вихідним, а що необхідно виміряти?
2. У чому полягає різниця між одно- та багатократною засічкою?
3. Як обчислити дирекційний кут лінії?
4. Яким способом доцільно вимірювати кути в оберненій засічці?
5. Якщо вимірювання виконуються з невідомої точки на 3 відомі, то обернена засічка одно- чи багатократна?

Лабораторна робота №3

Прив'язка двох точок за двома заданими (задача Ганзена)

Мета: вивчити схеми та методики прив'язки двох точок за двома заданими.

Завдання: способом кругових прийомів виміряти горизонтальні кути на точках, що визначаються (задаються викладачем згідно додатку Е) та виконати обчислення їх координат способом умовного базису.

Теоретичні відомості

Суть задачі полягає у визначенні координат двох точок за двома вихідними пунктами та вимірними 4-ма кутами біля точок, що визначаються. З розв'язку задачі можна отримати координати двох додаткових точок M та N за умови видимості з кожної з них на вихідні пункти A та B та видимості між точками M й N (рис. 3.1).

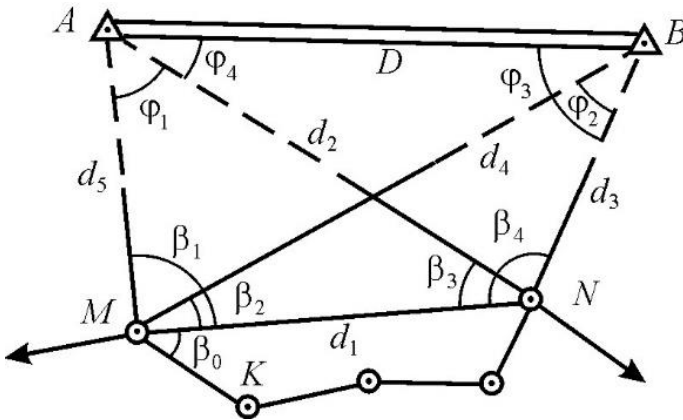


Рис. 3.1. Схема до рішення задачі Ганзена

За результатами вимірювань графічно задачу перевірити неможливо. Для контролю польових вимірів і результатів обчислень виміряють відстань між парою точок, що визначаються і порівнюють результат з відстанню, обчисленою за одержаними координатами.

Найвигіднішою геометрією задачі буде така, коли форма, створена заданими та шуканими точками, близька до квадрату.

Послідовність розв'язку способом умовного базису

Розглянемо приклад розв'язку, коли є дві тверді точки A, B з координатами x_A, y_A, x_B, y_B (рис. 3.1). Для обчислення координат точок M і N вимірюються горизонтальні кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ при цих точках.

За вимірними кутами з трикутників AMN і MBN можна обчислити кути:

$$\varphi_1 = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_3), \quad \varphi_2 = 180^\circ - (\beta_2 + \beta_4). \quad (3.1)$$

Одним з найпростіших способів розв'язку задачі є спосіб умовного базису. Для лінії MN приймають умовну довжину $d_{1\text{ум}}$ і за вимірними кутами вираховують умовні довжини ліній з трикутників MAN, MBN :

$$\begin{aligned} d_{2\text{ум}} &= \frac{d_{1\text{ум}} \sin \beta_1}{\sin \varphi_1}; & d_{3\text{ум}} &= \frac{d_{1\text{ум}} \sin \beta_2}{\sin \varphi_2}; \\ d_{4\text{ум}} &= \frac{d_{1\text{ум}} \sin \beta_4}{\sin \varphi_2}; & d_{5\text{ум}} &= \frac{d_{1\text{ум}} \sin \beta_3}{\sin \varphi_1} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Для лінії AB

$$\begin{cases} D'^2_{\text{ум}} = d_{4\text{ум}}^2 + d_{5\text{ум}}^2 - 2d_{4\text{ум}}d_{5\text{ум}} \cos(\beta_1 - \beta_2) \\ D''^2_{\text{ум}} = d_{2\text{ум}}^2 + d_{3\text{ум}}^2 - 2d_{2\text{ум}}d_{3\text{ум}} \cos(\beta_4 - \beta_3) \end{cases} \quad (3.3)$$

Остання формула у (3.3) є контрольною.

Далі обчислюється коефіцієнт умовного значення довжин ліній:

$$K = \frac{D}{D_{\text{ум}}} \quad (3.4)$$

де D – довжина лінії AB , знайдена за вихідними координатами точок A та B .

Після цього знаходять дійсні довжини всіх ліній:

$$d_i = K d_{i\text{ум}} \quad (3.5)$$

Кути φ_3 та φ_4 можна обчислити з трикутника ABN за теоремою синусів:

$$\varphi_3 = \text{asin} \frac{d_2 \sin(\beta_4 - \beta_3)}{D}; \quad \varphi_4 = \text{asin} \frac{d_3 \sin(\beta_4 - \beta_3)}{D} \quad (3.6)$$

Контроль: $\varphi_3 + \varphi_4 + \beta_4 - \beta_3 = 180^\circ$.

Дирекційні кути сторін трикутників і координати точок M та N обчислюються за формулами (3.7) та (3.8):

$$\begin{cases} \alpha_{AN} = \alpha_{AB} + \varphi_4; & \alpha_{AM} = \alpha_{AB} + \varphi_1 + \varphi_4; \\ \alpha_{BM} = \alpha_{AB} + 180^\circ - (\varphi_3 - \varphi_2); & \alpha_{BN} = \alpha_{AB} + 180^\circ - \varphi_3 \end{cases} \quad (3.7)$$

$$\begin{cases} x_M = x_A + d_5 \cos \alpha_{AM} = x_B + d_4 \cos \alpha_{BM} \\ y_M = y_A + d_5 \sin \alpha_{AM} = y_B + d_4 \sin \alpha_{BM} \\ x_N = x_A + d_2 \cos \alpha_{AN} = x_B + d_3 \cos \alpha_{BN} \\ y_N = y_A + d_2 \sin \alpha_{AN} = y_B + d_3 \sin \alpha_{BN} \end{cases} \quad (3.8)$$

Приклад обчислення координат точок способом умовного базису для схеми зображеної на рис. 3.2 подано в таблиці 3.1.

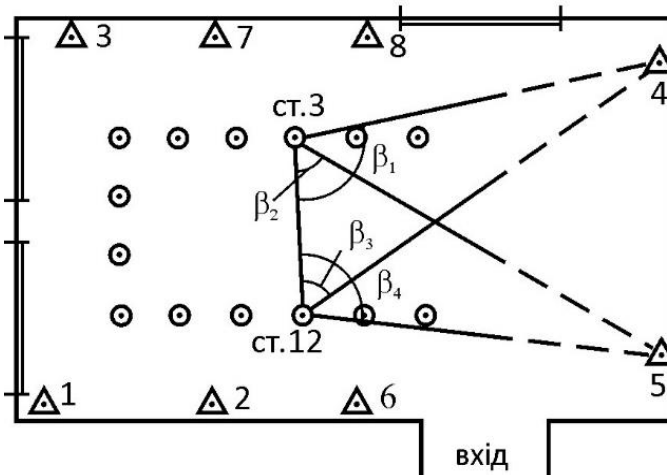


Рис. 3.2. Приклад схеми до задачі Ганзена в ауд. 708

До захисту роботи необхідно представити опрацьовані журнали вимірювання кутів способом кругових прийомів, схему засічки та обчислені координати шуканих точок.

Завдання для самостійної роботи. Розглянути послідовність розв'язку задачі Ганзена способом умовних координат.

Таблиця 3.1

Обчислення координат двох точок за двома даними
(задача Ганзена) (рис. 3.2)

Вихідні дані: $x_4=3602,001$; $y_4=2165,509$; $x_5=3605,934$;
 $y_5=2156,276$; $D_{45}=10,036$ м; $\alpha_{45}=293^\circ04'22''$; $d_{1\text{ум}}=1$ м

№	Формули	Обчислення	№	Формули	Обчислення
1	β_1	71°49'20"	18	d_4	16,017
2	β_2	35°19'51"	19	d_5	9,715
3	β_3	62°37'29"	20	φ_3	60°14'20"
4	β_4	119°34'32"	21	φ_4	62°48'30"
5	φ_1	45°33'11"	22	$\varphi_3 + \varphi_4 + \beta_4 - \beta_3$	179°59'53"
6	φ_2	25°05'37"	23	$\alpha_{4\text{ст.12}}$	355°52'52"
7	$d_{2\text{ум}}$	1,330851	24	$\alpha_{4\text{ст.3}}$	41°26'03"
8	$d_{3\text{ум}}$	1,363591	25	$\alpha_{5\text{ст.12}}$	52°50'02"
9	$d_{4\text{ум}}$	2,050716	26	$\alpha_{5\text{ст.3}}$	77°55'39"
10	$d_{5\text{ум}}$	1,243893	27	$x'_{\text{ст.12}}$	3612,368
11	$\beta_1 - \beta_2$	36°29'29"	28	$y'_{\text{ст.12}}$	2164,762
12	$\beta_4 - \beta_3$	56°57'03"	29	$x'_{\text{ст.3}}$	3609,284
13	$D'_{\text{ум}}$	1,284982	30	$y'_{\text{ст.3}}$	2171,938
14	$D''_{\text{ум}}$	1,284983	31	$x''_{\text{ст.12}}$	3612,368
15	$K = d_1$	7,810221	32	$y''_{\text{ст.12}}$	2164,763
16	d_2	10,394	33	$x''_{\text{ст.3}}$	3609,284
17	d_3	10,650	34	$y''_{\text{ст.3}}$	2171,939

Запитання для контролю.

1. Чи можна якимось чином проконтролювати вимірювання у класичній задачі Ганзена?
2. Які елементи відображаються на схемі задачі Ганзена? Що є вихідним, а що необхідно виміряти?
3. Яким чином можна обчислити кути φ_1 та φ_2 ?
4. За якими формулами визначаються координати шуканих точок?
5. Яким чином визначити коефіцієнт для обчислення довжин ліній в способі умовного базису?
6. Скільки кутів вимірюється у класичній задачі Ганзена?

Лабораторна робота №4

Знесення координат з вершини знака на землю

Мета: навчитись прив'язувати (з контролем) точки знімальних ходів та мереж до недоступних пунктів вищих класів.

Завдання: виміряти горизонтальні кути та відстані між точками, які прив'язуються (задаються викладачем згідно додатку Ж); виконати обчислення координат точки, що зноситься.

Теоретичні відомості та принцип розв'язку

Координати пунктів полігонометричних і теодолітних ходів необхідно обчислювати в єдиній системі з пунктами опорних мереж вищого класу, які іноді є недоступними для встановлення приладу.

Якщо пункт A вищого класу розташований на недоступному (шпиль, вежа і т. д.) для роботи місці (рис. 4.1), то від такого пункту можна передати координати на точку P земної поверхні.

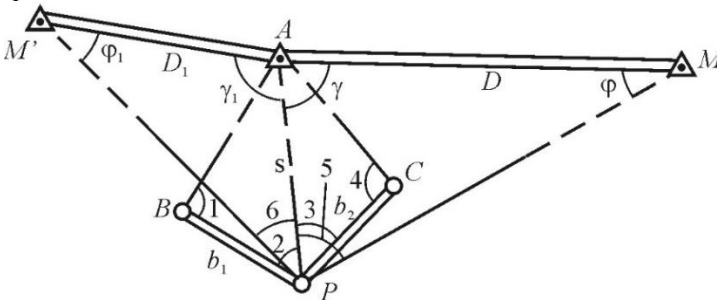


Рис. 4.1. Схема знесення координат на землю. Загальний випадок

Точку P обирають в такому місці, щоб з неї була видимість на опорні точки A і M . Для додаткового контролю можна використовувати ще одну вихідну точку – M' . Крім того, біля точки P вимірюють дві лінії b_1 і b_2 і горизонтальні кути 1, 2, 3, 4, 5, 6. Рішенням трикутників BAP , CAP обчислюють два значення

довжини лінії $A-P=s$, з отриманих результатів беруть середнє значення.

$$\begin{cases} s' = \frac{b_1 \sin 1}{\sin(1+2)} \\ s'' = \frac{b_2 \sin 4}{\sin(3+4)} \\ s = \frac{s' + s''}{2} \end{cases} \quad (4.1)$$

Дирекційний кут α_{AM} і довжину D лінії AM можна обчислити за координатами точок A і M . Для визначення дирекційного кута лінії AP потрібно знати горизонтальний кут γ , тоді:

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AM} + \gamma. \quad (4.2)$$

Для отримання кута γ потрібно з трикутника APM обчислити кут φ :

$$\sin \varphi = \frac{s \sin 5}{D} \quad (4.3)$$

З трикутника APM $\gamma = 180 - (\varphi + 5)$.

Координати шуканої точки P будуть:

$$x_P = x_A + s \cos \alpha_{AP}; \quad y_P = y_A + s \sin \alpha_{AP}. \quad (4.4)$$

Для перевірки результатів обчислення можна обчислити координати точки P від іншої твердої точки M :

$$x_P = x_M + s_k \cos \alpha_{MP}; \quad y_P = y_M + s_k \sin \alpha_{MP}, \quad (4.5)$$

$$\begin{cases} \alpha_{MP} = \alpha_{MA} - \varphi \\ s_k = \frac{D \sin \gamma}{\sin 5} \end{cases}. \quad (4.6)$$

Отримані результати повинні співпадати в межах вимог точності.

Оцінка точності

Для цього потрібно знати точність польових вимірювань m_β та m_b або (m_b/b) . Тоді середня квадратична похибка (СКП) обчисленої сторони s буде (з двох трикутників BAP та CAP):

$$\begin{cases} m_{s'}^2 = \left(\frac{m_b}{b_1}\right)^2 s^2 + [(\text{ctg } 1 + \text{ctg } \varepsilon_1)^2 + \text{ctg}^2 \varepsilon_1] \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 s^2 \\ m_{s''}^2 = \left(\frac{m_b}{b_2}\right)^2 s^2 + [(\text{ctg } 4 + \text{ctg } \varepsilon_2)^2 + \text{ctg}^2 \varepsilon_2] \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 s^2 \end{cases}, \quad (4.7)$$

де $\varepsilon_1 = 180^0 - (1 + 2)$; $\varepsilon_2 = 180^0 - (3 + 4)$.

Гранично допустиме розходження між значеннями сторони s , обчисленої з двох трикутників буде

$$\sigma_{\text{гр}} \Delta s = \pm 2 \sqrt{m_{s'}^2 + m_{s''}^2} \quad (4.8)$$

СКП кінцевого (середнього) значення довжини s обчислюється так

$$M_s = \pm \frac{1}{2} \sqrt{m_{s'}^2 + m_{s''}^2} \quad (4.9)$$

СКП дирекційного кута AP буде

$$M_\alpha = \frac{m_\beta}{\sqrt{2}}. \quad (4.10)$$

Отже, СКП положення пункту P знайдемо за формулою

$$M_P^2 = M_s^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 s^2 \quad (4.11)$$

Приклад знесення координат з вершини знака на землю

Потрібно знайти координати точки $ст.4$ (рис. 4.2).

Вихідні дані:

$x_8 = 4494,654$; $y_8 = 6516,936$; $x_2 = 4496,806$; $y_2 = 6511,492$;
 $x_6 = 4499,953$; $y_6 = 6518,944$; ($\alpha_{82} = 291^\circ 34' 08''$, $D_{82} = 5,854$ м;
 $\alpha_{86} = 20^\circ 45' 13''$, $D_{86} = 5,667$ м); $\beta_1 = 97^\circ 13' 49''$; $\beta_2 = 57^\circ 11' 00''$;
 $\beta_3 = 83^\circ 32' 01''$; $\beta_4 = 46^\circ 05' 07''$; $\beta_5 = 62^\circ 23' 49''$; $62^\circ 23' 49''$; $\beta_6 = 72^\circ 59' 50''$; $b_1 = 2,494$ м; $b_2 = 6,128$ м.
 Точність вимірів: $m_\beta = 15''$; $m_b = 0,005$ м.

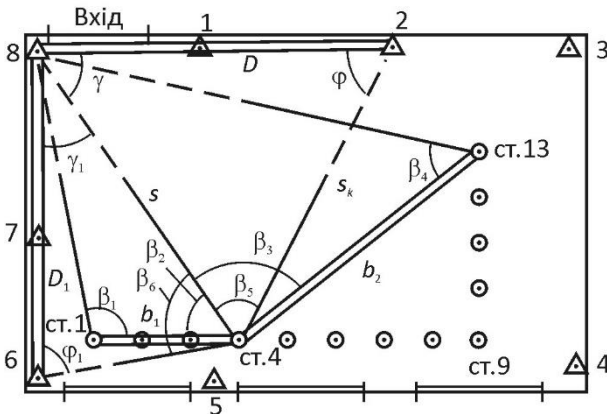


Рис. 4.2. Приклад знесення координат для умов аудиторії

1) Знаходження сторони s .

$$s' = \frac{b_1 \sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} = \frac{2,494 \sin 97^{\circ}13'49''}{\sin(97^{\circ}13'49''+57^{\circ}11'00'')} = 5,729 \text{ м}$$

$$s'' = \frac{b_2 \sin \beta_4}{\sin(\beta_3 + \beta_4)} = \frac{6,128 \sin 46^{\circ}05'07''}{\sin(83^{\circ}32'01''+46^{\circ}05'07'')} = 5,731 \text{ м}$$

За остаточне приймаємо середнє арифметичне $s=5,730$ м.

2) Знаходження кутів φ та γ з трикутника 8-2-см.4.

$$\sin \varphi = \frac{s \sin \beta_5}{D} = \frac{5,730 \sin 62^{\circ}23'49''}{5,854} = 0,867408$$

$$\varphi = 60^{\circ}09'32''$$

$$\gamma = 180^{\circ} - (\varphi + \beta_5) = 180^{\circ} - (60^{\circ}09'32''+62^{\circ}23'49'') = 57^{\circ}26'39''.$$

Знаходження кутів φ_1 та γ_1 з трикутника 8-6-см.4.

$$\sin \varphi_1 = \frac{s \sin \beta_6}{D_1} = \frac{5,730 \sin 72^{\circ}59'50''}{5,667} = 0,966922$$

$$\varphi_1 = 75^{\circ}13'19''$$

$$\gamma_1 = 180^{\circ} - (\varphi_1 + \beta_6) = 180^{\circ} - (75^{\circ}13'19''+72^{\circ}59'50'') = 31^{\circ}46'51''.$$

3) Знаходження дирекційного кута напрямку 8см.4 та координат см.4.

$$\alpha'_{8\text{ст.4}} = \alpha_{82} + \gamma = 291^{\circ}34'08''+57^{\circ}26'39'' = 349^{\circ}00'47''$$

$$\alpha''_{8\text{ст.4}} = \alpha_{86} - \gamma_1 = 20^{\circ}45'13''-31^{\circ}46'51'' = 348^{\circ}58'22''$$

$$\alpha_{8\text{ст.4}} = (349^{\circ}00'47''+348^{\circ}58'22'')/2 = 348^{\circ}59'34''$$

$$x_{\text{ст.4}} = x_8 + s \cos \alpha_{8\text{ст.4}} = 4494,654 + 5,730 \cos 348^{\circ}59'34'' = 4500,279 \text{ м}$$

$$y_{\text{ст.4}} = y_8 + s \sin \alpha_{8\text{ст.4}} = 6516,936 + 5,730 \sin 348^{\circ}59'34'' = 6515,842 \text{ м}$$

4) Контроль обчислення координат см.4

Дирекційний кут напрямку 2см.4 та відстань s_k знайдемо за формулами (4.6)

$$\alpha_{2\text{ст.4}} = 111^{\circ}34'08''-60^{\circ}09'32'' = 51^{\circ}24'36''$$

$$s_k = \frac{5,854 \sin 57^{\circ}26'39''}{\sin 62^{\circ}23'49''} = 5,568 \text{ м}$$

Контрольні значення координат *ст.4* знайдемо за формулами (4.5)

$$x'_{ст.4} = 4496,806 + 5,568 \cos 51^{\circ}24'36'' = 4500,279 \text{ м}$$

$$y'_{ст.4} = 6511,492 + 5,568 \sin 51^{\circ}24'36'' = 6515,844 \text{ м}$$

5) Оцінка точності.

За формулами (4.7) обчислимо $m_{s'}$, та $m_{s''}$. Результати – в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Приклад обчислення оцінки точності

Трикутник 1		Трикутник 2	
Позначення	Значення	Позначення	Значення
β_1	97 ⁰ 13'49"	β_4	46 ⁰ 05'07"
ε_1	25 ⁰ 35'11"	ε_2	50 ⁰ 22'52"
$\text{ctg } \beta_1$	-0,126866	$\text{ctg } \beta_4$	0,962817
$\text{ctg } \varepsilon_1$	2,088434	$\text{ctg } \varepsilon_2$	0,827827
$(\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \varepsilon_1)^2$	3,847749	$(\text{ctg } \beta_4 + \text{ctg } \varepsilon_2)^2$	3,206406
$(\text{ctg } \beta_1 + \text{ctg } \varepsilon_1)^2 + \text{ctg}^2 \varepsilon_1$	8,209306	$(\text{ctg } \beta_4 + \text{ctg } \varepsilon_2)^2 + \text{ctg}^2 \varepsilon_2$	3,891704
$(m_{\beta}/\rho)^2$	$5,288 \cdot 10^{-9}$	$(m_{\beta}/\rho)^2$	$5,288 \cdot 10^{-9}$
$(m_b/b_1)^2$	$4,019 \cdot 10^{-6}$	$(m_b/b_2)^2$	$6,657 \cdot 10^{-7}$
s^2	32832900	s^2	32832900
$m_{s'}$	133,4	$m_{s''}$	22,5

$$M_s^2 = (133,4 + 22,5)/4 = 39,0 \text{ мм}^2$$

$$M_{ст.4} = \sqrt{39,0 + (15 \cdot 5730/206265)^2} = 6,3 \text{ мм}$$

При умові, що елементи вимірювались в умовах аудиторії (дуже короткі відстані), то результат слід вважати задовільним.

До захисту роботи необхідно представити опрацьовані журнали вимірювання кутів способом прийомів та способом кругових прийомів, схему засічки та обчислені координати шуканої точки.

Завдання для самостійної роботи. Розглянути вимоги до геометрії засічок, які використовуються на лабораторних роботах.

Запитання для контролю.

1. Наведіть випадки можливого використання способу знесення координат на землю?
2. Для чого ми вимірюємо дві сторони b_1 та b_2 , а не обмежуємося однією?
3. Яким чином розраховується кут γ при недоступній точці А?
4. За якими формулами обчислюються координати шуканої точки Р?
5. Яким чином можна проконтролювати правильність обчислення координат шуканої точки Р?
6. Яким чином обчислити середню квадратичну похибку положення шуканого пункту Р?
7. На скількох точках вимірюють кути для знесення координат?
8. Скільки вихідних пунктів з відомими координатами необхідно у способі знесення координат на землю?

Лабораторна робота №5
Пряма кутова засічка

Мета: вивчити схеми та методику прив'язки способом прямої кутової засічки.

Завдання: з трьох точок з відомими координатами (задаються викладачем згідно додатку К) виміряти кути на точку, яка визначається та обчислити її координати.

Однократна пряма засічка за дирекційними кутами

Для визначення положення пункту прямою однократною засічкою необхідно на місцевості мати два твердих пункти, на яких виміряти кути від ліній з відомими дирекційними кутами до пункту, що треба визначити. При наявності трьох або більше твердих пунктів пряма засічка називається багатократною.

В загальному випадку прив'язку методом прямої засічки можна зробити, коли між точками 1 і 2 немає видимості (рис. 5.1). Такий випадок ще називається **прямою засічкою за дирекційними кутами**. В цьому випадку вимірюють кути β_1, β_2 , за якими обчислюють дирекційні кути ліній $1B$ і $2B$, використовуючи формули:

$$\begin{cases} \alpha_{1B} = \alpha_1 + \beta_1 \\ \alpha_{2B} = \alpha_2 + \beta_2 \end{cases} \quad (5.1)$$

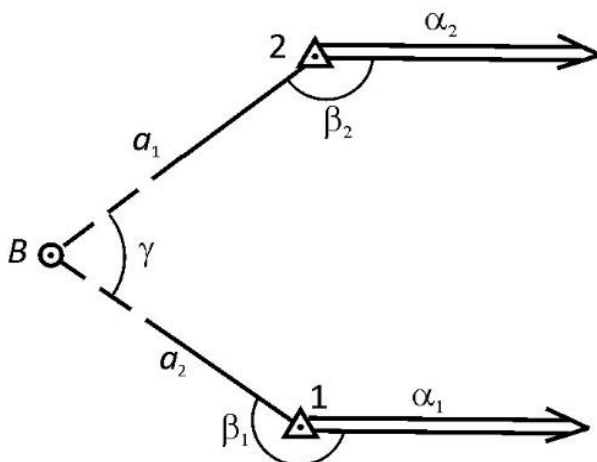


Рис. 5.1. Схема прив'язки прямою однократною кутовою засічкою за дирекційними кутами

Координати точки B можна отримати таким чином. Виразимо дирекційні кути лінії $1B$ і $2B$ через координати крайніх точок тобто:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1B} = \frac{y_B - y_1}{x_B - x_1}; \quad \operatorname{tg} \alpha_{2B} = \frac{y_B - y_2}{x_B - x_2}$$

звідки маємо

$$\begin{cases} y_B - y_1 = (x_B - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{1B} \\ y_B - y_2 = (x_B - x_2) \operatorname{tg} \alpha_{2B} \end{cases} \quad (5.2)$$

Знайшовши різницю рівнянь у системі (5.2) і розкривши дужки отримаємо:

$$y_2 - y_1 = x_B \operatorname{tg} \alpha_{1B} - x_1 \operatorname{tg} \alpha_{1B} - x_B \operatorname{tg} \alpha_{2B} + x_2 \operatorname{tg} \alpha_{2B},$$

звідки

$$x_B = \frac{y_2 - y_1 - x_2 \operatorname{tg} \alpha_{2B} + x_1 \operatorname{tg} \alpha_{1B}}{\operatorname{tg} \alpha_{1B} - \operatorname{tg} \alpha_{2B}}$$

З обох частин рівняння віднімемо x_1 і x_2 . Отримаємо прирости:

$$\begin{cases} \Delta x_1 = x_B - x_1 = \frac{y_2 - y_1 - (x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{2B}}{\operatorname{tg} \alpha_{1B} - \operatorname{tg} \alpha_{2B}} = \frac{A}{K} \\ \Delta x_2 = x_B - x_2 = \frac{y_2 - y_1 - (x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{1B}}{\operatorname{tg} \alpha_{1B} - \operatorname{tg} \alpha_{2B}} = \frac{A'}{K} \end{cases} \quad (5.3)$$

Прирости Δy_1 і Δy_2 визначаються з формул (5.2). Координати шуканої точки отримують з формул:

$$\begin{cases} x'_B = x_1 + \Delta x_1; & y'_B = y_1 + \Delta y_1 \\ x''_B = x_2 + \Delta x_2; & y''_B = y_2 + \Delta y_2 \\ x_B = \frac{x'_B + x''_B}{2}; & y_B = \frac{y'_B + y''_B}{2} \end{cases} \quad (5.4)$$

Якщо дирекційні кути α_{1B}, α_{2B} близькі до 90° або 270° , то краще користуватися формулами

$$\begin{cases} \Delta y_1 = \frac{x_2 - x_1 - (y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \alpha_{2B}}{\operatorname{ctg} \alpha_{1B} - \operatorname{ctg} \alpha_{2B}}; & \Delta x_1 = \Delta y_1 \operatorname{ctg} \alpha_{1B} \\ \Delta y_2 = \frac{x_2 - x_1 - (y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \alpha_{1B}}{\operatorname{ctg} \alpha_{1B} - \operatorname{ctg} \alpha_{2B}}; & \Delta x_2 = \Delta y_2 \operatorname{ctg} \alpha_{2B} \end{cases} \quad (5.5)$$

Геометричні умови мають бути такими, щоб кут γ при точці, що визначається був в межах $30^\circ < \gamma < 150^\circ$. Оптимальне значення $\gamma = 90^\circ$.

Однократна пряма засічка за вимірними кутами

Розглянемо частковий випадок на прикладі однієї з навчальних аудиторій (рис. 5.2), коли між опорними точками ст.2 і ст.9 є взаємна видимість. Такий випадок ще називається *прямою засічкою за вимірними кутами*. Необхідно визначити координати недоступної точки (марки) за відомими координатами точок опори (стовпів) ст.2 і ст.9 $x_{\text{ст.2}}, y_{\text{ст.2}}$ і $x_{\text{ст.9}}, y_{\text{ст.9}}$. Тоді польові роботи щодо прив'язки зводяться до вимірювання кутів β_1 і β_2 .

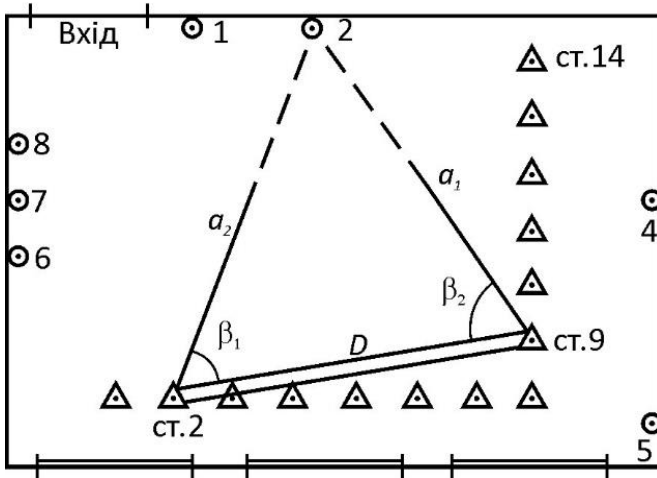


Рис. 5.2. Схема прив'язки прямою однократною кутовою засічкою за вимірними кутами

Координати марки 2 визначаються таким чином. З трикутника ст.2-2-ст.9 (за теоремою синусів) за стороною D і кутами β_1, β_2 визначають довжини ліній ст.2 – 2 = a_2 і ст.9 – 2 = a_1 .

$$a_1 = \frac{D \sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}; \quad a_2 = \frac{D \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 + \beta_2)}. \quad (5.6)$$

Дирекційні кути ліній ст.2-2 і ст.9-2 визначають за формулами:

$$\begin{cases} \alpha_{\text{ст.9-2}} = \alpha_{\text{ст.9-ст.2}} + \beta_2 \\ \alpha_{\text{ст.2-2}} = \alpha_{\text{ст.2-ст.9}} - \beta_1 \end{cases} \quad (5.7)$$

Прирости координат ліній ст.2-2 і ст.9-2 наступні:

$$\begin{cases} \Delta x_{\text{ст.2-2}} = a_2 \cos \alpha_{\text{ст.2-2}}; \quad \Delta y_{\text{ст.2-2}} = a_2 \sin \alpha_{\text{ст.2-2}} \\ \Delta x_{\text{ст.9-2}} = a_1 \cos \alpha_{\text{ст.9-2}}; \quad \Delta y_{\text{ст.9-2}} = a_1 \sin \alpha_{\text{ст.9-2}} \end{cases} \quad (5.8)$$

Координати точки 2 будуть отримані двічі:

$$\begin{aligned} 1) \quad x'_2 &= x_{\text{ст.2}} + \Delta x_{\text{ст.2-2}}; & y'_2 &= y_{\text{ст.2}} + \Delta y_{\text{ст.2-2}}, \\ 2) \quad x''_2 &= x_{\text{ст.9}} + \Delta x_{\text{ст.9-2}}; & y''_2 &= y_{\text{ст.9}} + \Delta y_{\text{ст.9-2}}. \end{aligned}$$

Розбіжності в координатах можуть бути тільки за рахунок заокруглень при обчисленнях.

Остаточні координати точки 2 будуть:

$$x_2 = \frac{x'_2 + x''_2}{2}; \quad y_2 = \frac{y'_2 + y''_2}{2} \quad (5.9)$$

Приклад обчислення координат прямою однократною засічкою за вимірними кутами (рис. 5.3) наведено в таблиці 5.1. За вихідні вибрані пункти 1 та 7. Обчислення виконані за формулами (5.2)-(5.4).

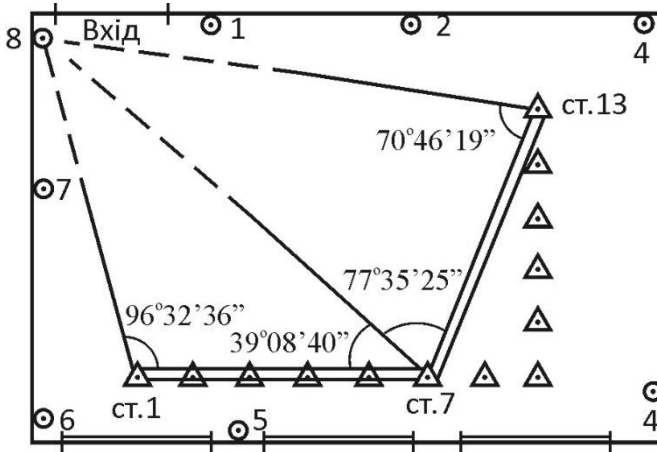


Рис. 5.3. Вимірювання до прямої багатократної кутової засічки

Таблиця 5.1
Визначення координат точки 8 прямою однократною кутовою засічкою

№	Позначення	Обчислення
1	x_1	4502,477
2	y_1	6512,803
3	x_7	4505,479
4	y_7	6508,347
5	α_{17}	303°58'05"
6	β_1	96°32'36"
7	α_{18}	207°25'29"
8	β_7	39°08'40"
9	α_{78}	163°06'45"
10	$\text{tg } \alpha_{78}$	-0,303585
11	$\text{tg } \alpha_{18}$	+0,518898

№	Позначення	Обчислення
12	$x_7 - x_1$	+3,002
13	$y_7 - y_1$	-4,456
14	$A = y_7 - y_1 - (x_7 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{78}$	-3,54464
15	$A' = y_7 - y_1 - (x_7 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{18}$	-6,01373
16	$K = \operatorname{tg} \alpha_{18} - \operatorname{tg} \alpha_{78}$	0,822483
17	$\Delta x_1 = A/K$	-4,310
18	$\Delta x_7 = A'/K$	-7,312
19	$x_8 = x_1 + \Delta x_1 = x_7 + \Delta x_7$	4498,167
20	$\Delta y_1 = \Delta x_1 \operatorname{tg} \alpha_{18}$	-2,236
21	$\Delta y_7 = \Delta x_7 \operatorname{tg} \alpha_{78}$	+2,220
22	$y_8 = y_1 + \Delta y_1 = y_7 + \Delta y_7$	6510,567

До захисту роботи необхідно представити опрацьовані журнали вимірювання кутів способом прийомів та способом кругових прийомів, схему засічки та обчислені координати шуканої точки.

Завдання для самостійної роботи. Розглянути послідовність розв'язку багатократної прямої кутової засічки.

Запитання для контролю.

1. Накреслити схему однократної прямої засічки за дирекційними кутами та позначити елементи, що вимірюються.
2. Накреслити схему однократної прямої засічки за вимірними кутами та позначити елементи, що вимірюються.
3. При якій кількості напрямків пряма засічка називається багатократною?
4. Яким чином контролюються координати шуканої точки в однократній прямій засічці?
5. Який варіант прямої засічки необхідно використовувати, якщо між вихідними пунктами немає взаємної видимості?
6. Якщо вимірювання виконуються з 3-ох відомих точок на шукану, то пряма засічка одно- чи багатократна?

Лабораторна робота №6

Зрівноваження засічок в програмному комплексі «CREDO»

Мета: навчитись опрацювати результати вимірів засічок в спеціалізованих програмних продуктах.

Завдання: опрацювати результати вимірів одно- та багатократних засічок (виміряних у попередніх лабораторних роботах) та шляхом їх зрівноваження знайти координати шуканих точок. Виконати оцінку точності.

Теоретичні відомості


При зрівноваженні засічок у програмному продукті Credo_Dat для їх опису потрібно використовувати лише дві закладки: *Пункти ПВО* та *Вимірювання*.


Порядок роботи під час зрівноваження оберненої засічки

1. Запустити Credo_Dat та створити новий проект «*Файл – Створити – Проект*» (або комбінація клавіш *Ctrl+N*).


2. У закладці «*Пункти ПВО*» описати назви та координати вихідних пунктів (перехід між клітинками – *Enter*) і задати їх тип – «*Вихідний*».

3. Перейти на закладку «*Вимірювання*», де у верхній частині вікна обрати тип знімання «*ПВО*», та у верхній таблиці вказати назву точки, координати якої визначаються. У нижній таблиці описати назви точок візування та відліки з горизонтального круга або приведені напрямки з польового журналу. Початковий напрям достатньо вводити лише один раз (без замикання горизонту). В графі «*Клас (XY)*» вказати клас (розряд) вимірів.

4. Виконати попереднє опрацювання – «*Розрахунки – Попередня обробка – Розрахунок*» (*Ctrl+I*) або натиснути на панелі інструментів кнопку . Якщо проект досі був не збережений – з'явиться повідомлення з запитанням чи зберегти даний проект (розширення файлу проекту *.gds).

5. Виконати L_1 -аналіз – «*Розрахунки – Аналіз – L_1 -аналіз*» або натиснути на панелі інструментів . Послідовно буде

видано два повідомлення про відсутність чи наявність грубих похибок вимірів (спочатку планових, потім – висотних). За наявності грубих помилок планових вимірювань необхідно ще раз ретельно перевірити нумерацію точок візування, послідовність візування та відліки з ГК (приведені напрямки), а також правильність введення вихідних координат точок.

6. Провести зрівноваження командою «Розрахунки – Зрівноваження – Розрахунок» (Ctrl+2) або натиснути на панелі інструментів кнопку . Праворуч, у графічному вікні має з'явитися схема (рис. 6.1), де відображаються: вихідні пункти (точка в трикутнику), пункт(и), що визначаються (точка в колі), номери точок та еліпси похибок, які характеризують точність планового положення пунктів, що визначаються і є аналогом СКП планового положення точки. Положення еліпсів похибок задається такими параметрами: велика піввісь, мала піввісь, дирекційний кут великої півосі.

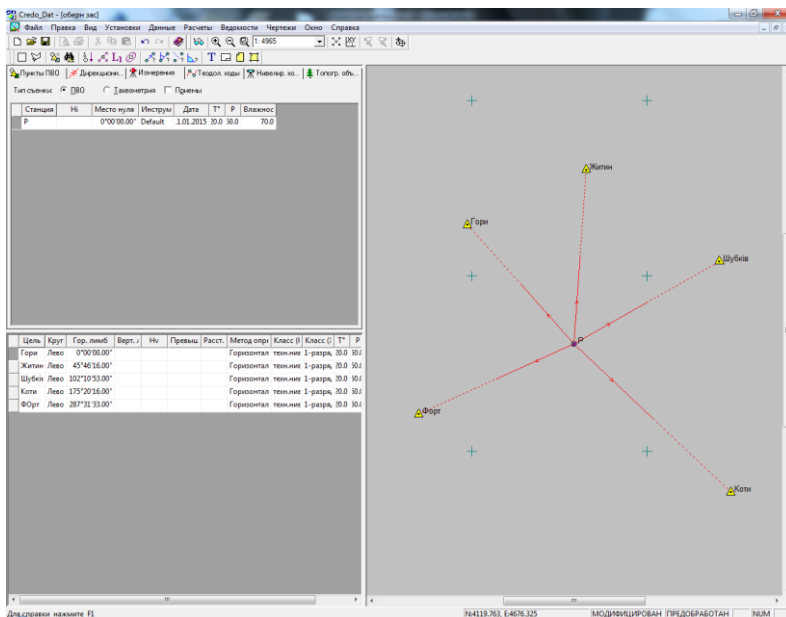


Рис. 6.1. Вікно програми з розв'язаною оберненою багатократною засічкою

Для зручного відображення підписів та самих точок у графічному вікні можна підібрати масштаб знімання в меню «Дані – Властивості проекту» в закладці «Картка проекту».

Порядок роботи під час зрівноваження прямої засічки

1. Виконати п. 1 та 2 аналогічно як і для оберненої засічки.
2. Перейти на закладку «Вимірювання», де у верхній частині вікна обрати тип знімання «ЛВО», та у верхній таблиці задати назви вихідних точок (станцій), на яких встановлювались прилади. У нижній таблиці послідовно для кожної із станцій описати назви точок візування та відліки з ГК або приведені напрямки з польового журналу. Початковий напрям достатньо вводити лише один раз (без замикання горизонту). В графі «Клас (ХУ)» вказати клас (розряд) вимірів.

3. Виконати п. 4, 5, 6 для оберненої засічки. Результати опрацювання наведено на рисунку 6.2.

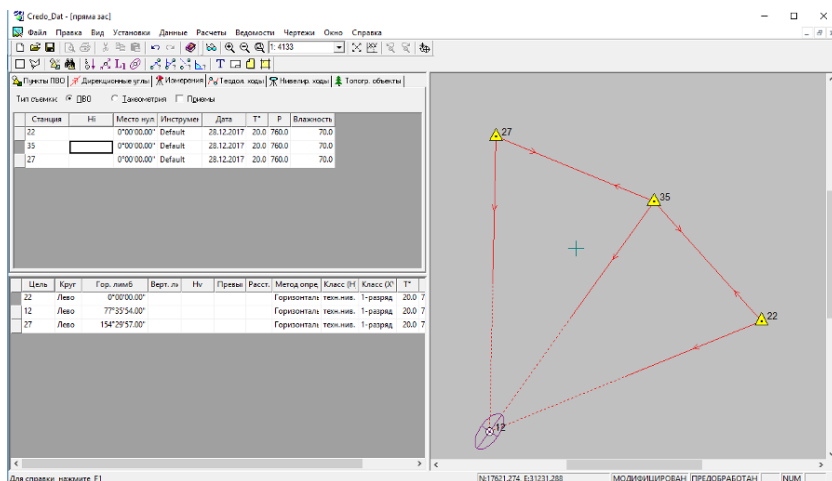



Рис. 6.2. Вікно програми з розв'язаною прямою багатократною засічкою

Порядок роботи під час розв'язання задачі знесення координат з вершини знака на землю

1. Виконати п. 1 та 2 аналогічно як і для оберненої засічки.

2. Перейти на закладку «Вимірювання», де у верхній частині вікна обрати тип знімання «ЛВО», та у верхній таблиці задати назви вихідних точок (станцій), на яких встановлювались прилади. У нижній таблиці послідовно для кожної із станцій описати назви точок візування та відліки з ГК або приведені напрямки з польового журналу. А також, в графі «Відстані» вказати виміряні довжини базисів та метод їх визначення (горизонтальні прокладення або нахилена відстань; за умови вибору нахилених відстаней необхідно додатково ввести вертикальний кут або перевищення за лінією). У графі «Клас (ХУ)» вказати клас (розряд) вимірів.

3. Введених вихідних даних не достатньо для програми, щоб отримати розв'язок, тому необхідно на екрані вказати приблизне, «на око», місцеположення пунктів, координати яких визначаються і задати їм тип «Попередній». Висока точність при цьому не вимагається, але необхідно дотриматися правильного схематичного розташування пунктів – який розташовується ліворуч, який праворуч тощо.

Для цього слід скористатися командою «Дані – Пункти – Створити/Редагувати» або натиснути на панелі інструментів кнопку  та на екрані вказати місцеположення пунктів. З'явиться вікно з координатами введеного пункту, де необхідно задати його номер та тип планових координат («Попередній»).

4. Виконати п. 4, 5, 6 для оберненої засічки. В процесі зрівноваження може з'явитися повідомлення про наявність грубих помилок планових вимірювань, що пов'язано з невідповідністю виміряних кутів та відстаней вказаним попереднім координатам точок, що визначаються. Погоджуємося з цим повідомленням, та продовжуємо. Результати опрацювання наведено на рис. 6.3.

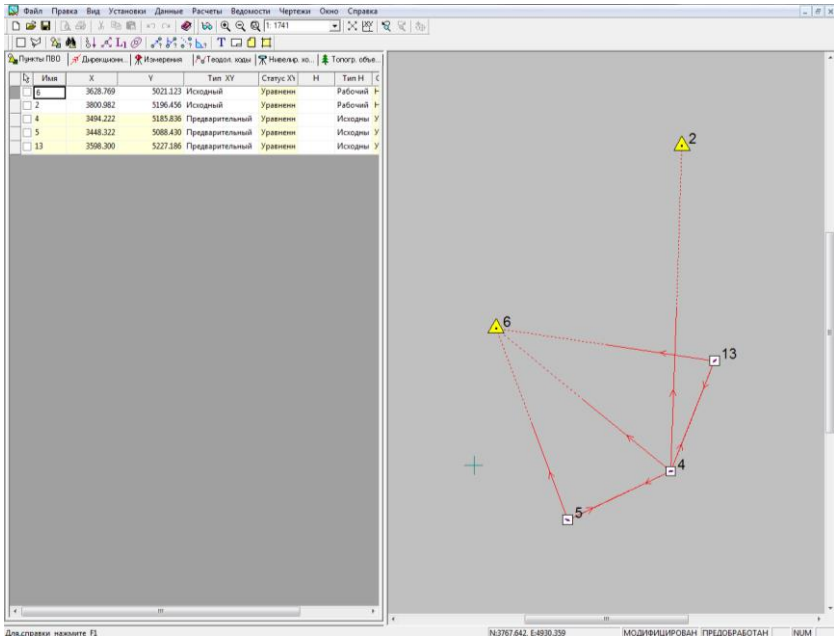



Рис. 6.3. Вікно програми зі знесеними координатами

Порядок роботи під час розв'язання задачі Ганзена

За результатами вимірювань лише кутів задача в *Sredo* не розв'язується. Але, можна рекомендувати наступний алгоритм:

1. Виконати п. 1 та 2 аналогічно як і для оберненої засічки.
2. Перейти на закладку «Вимірювання», де у верхній частині вікна обрати тип знімання «ЛВО», та у верхній таблиці задати назви вихідних точок (станцій), на яких встановлювались прилади. У нижній таблиці послідовно для кожної із станцій описати назви точок візування та відліки з ГК або приведені напрямки з польового журналу.

Вихідних даних для розв'язання задачі програмою недостатньо.

3. Виконати «Дані – Пункти – Створити/Редагувати» або натиснути на панелі інструментів  та на екрані вказати схематичне місцеположення пунктів, координати яких будуть визначатися. З'явиться вікно з координатами введеного пункту,

6. Виконати п. 4, 5, 6 для оберненої засічки. В процесі виконання може з'явитися повідомлення про наявність грубих помилок планових вимірювань, що пов'язано з наближеним значенням відстані між точками, що визначаються. Погоджуємося з цим повідомленням, та продовжуємо. Результати опрацювання наведено на рисунку 6.5.

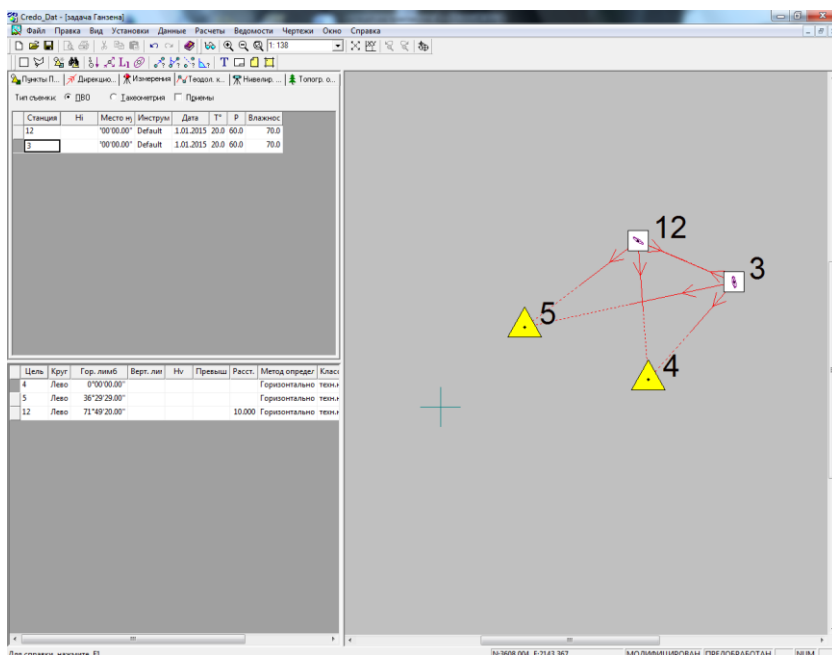



Рис. 6.5. Вікно програми з розв'язаною задачею Ганзена

Порядок роботи під час розв'язання подвійної задачі Ганзена

У випадку подвійної задачі Ганзена можна обійтися без введення умовних довжин ліній. Алгоритм розв'язку наступний:

1. Виконати п. 1-2 аналогічно як і для звичайної задачі Ганзена.

2. Виконати «Дані – Пункти – Створити/Редагувати» або натиснути на панелі інструментів  та на екрані вказати схематичне місцеположення пункту, спільного для обох задач

Ганзена. З'явиться вікно з координатами нанесеного пункту, де необхідно задати його номер та тип планових координат («Попередній»). На відміну від класичної задачі, у цьому випадку досить задати приблизне місцеположення одного пункту.

3. Виконати п. 4, 5, 6 для оберненої засічки. Результати опрацювання наведено на рисунку 6.6.

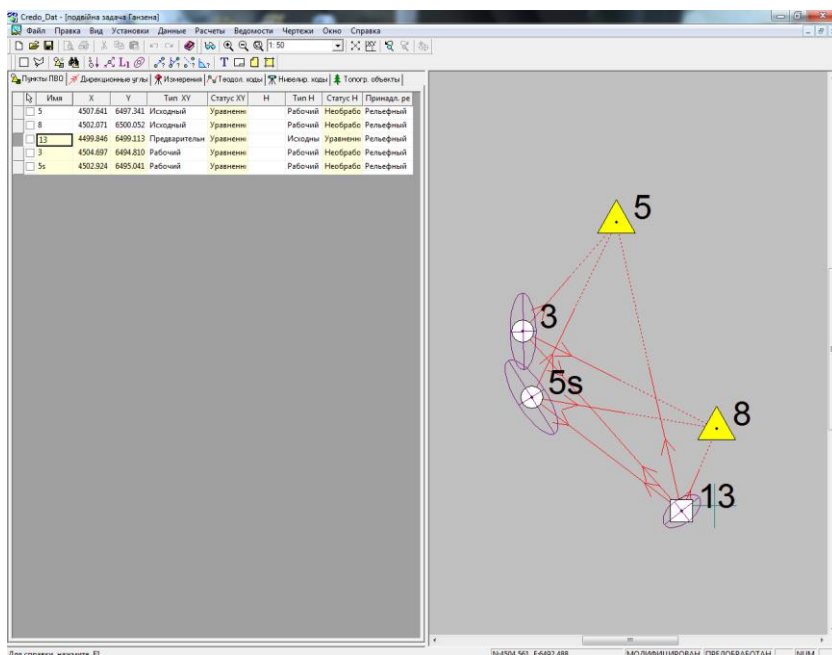





Рис. 6.6. Вікно програми з розв'язаною подвійною задачею Ганзена

До захисту роботи необхідно для кожної розглянутої засічки окремо роздрукувати наступні відомості (меню «Відомості»):

- Відомість координат;
- Відомість оцінки точності положення пунктів;
- Схема засічки.

Для виведення на друк схеми рекомендується використати команду меню «Креслення – Фрагменти для креслення», яка активує відповідну панель інструментів:

1. Натискаємо кнопку «Фрагмент – вікно»  та на екрані задаємо межі фрагменту для виведення на друк.
2. Натискаємо кнопку «Вибрати фрагменти»  та обираємо/активуємо заданий фрагмент.
3. Натискаємо кнопку «Компонування креслення»  після чого відкриється вікно, де необхідно ввести параметри креслення (орієнтація листа, формат, штамп) та саме вікно креслення.
4. Налаштовуємо бажаний вигляд схеми для виведення на друк. Найчастіше вживаними командами є «Вид – Показати вміст» та «Фрагмент – Масштаб».

Щоб уникнути проблем з друком креслення доцільно конвертувати його у формат *.pdf, наприклад, за допомогою віртуального принтера. Для зручності роботи з текстовими відомостями їх рекомендується зберегти у форматі *.rtf.

Завдання для самостійної роботи. Розглянути теоретичні основи алгоритмів зрівноваження засічок у програмі Credo_Dat.

Запитання для контролю.

1. На якій вкладці програми виконується опис вихідних координат?
2. На якій вкладці програми виконується опис вимірювань?
3. Яким чином можна задати на екрані попереднє (приблизне) розташування пунктів?
4. Яким чином переглянути СКП зрівноважених значень координат?
5. Який порядок зрівноваження після опису всіх вхідних даних?
6. Яка особливість розв'язку задачі Ганзена у програмі Credo?

ЛІТЕРАТУРА

1. Геодезичний енциклопедичний словник / за ред. В. Літинського. Львів : Євросвіт, 2001. 668 с.
2. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. К., 1999.
3. Геодезія. Практикум : навчальний посібник / Лагоднюк О. А., Янчук О. Є., Трохимець С. М., Німкович Р. С., Лагоднюк А. М., Прокопчук А. В. Рівне : НУВГП, 2019. 308 с.
4. Островський А. Л. Мороз О. І., Тарнавський В. Л. Геодезія, частина II : підручник. Львів, 2007. 508 с.
5. 05-04-109М Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Геодезичні прилади з основами метрології та стандартизації» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» денної та заочної форм навчання. Частина II. Електронні геодезичні прилади [Електронне видання] / Трохимець С. М., Янчук О. Є., Прокопчук А. В. Рівне : НУВГП, 2021. 59 с.
6. 076-121 Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Геодезія». Частина 2: «Геодезичні засічки» студентами напряму підготовки 6.080101 «Геодезія, картографія, землеустрій» денної та заочної форм навчання / О. А. Лагоднюк, Р. С. Німкович. Рівне : НУВГП, 2012. 48 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Журнал

*вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів
(при використанні електронного теодоліта)*

Теодоліт ___ № _____

Погода: _____

Дата: _____

Видимість: _____

Спостерігач: _____

Обчислювач: _____

№ прийому	Назва напрямку	Круг	Відлік	2с	$\frac{КЛ+КП}{2}$	Значення кута	Середнє значення з прийомів
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					
		КЛ					
		КП					

Додаток Б
Журнал

**вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів
(при використанні електронного теодоліта)**

Теодоліт ____ № _____

Погода: _____

Дата: _____

Видимість: _____

Спостерігач: _____

Обчислювач: _____

№ прийому	Назва напрямку	Круг	Відлік	2С=КЛ-КП	$\frac{КЛ + КП}{2}$	Значення напрямків	Схема
	1				2		
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						
	КЛ КП						

Додаток Д
Варіанти завдань для оберненої кутової засічки

Аудиторія 701

Стовпи	Віхи (тверді пункти)			
1	1	2	6	7
2	1	2	6	8
3	1	2	6	8
4	1	2	5	7
5	1	2	4	7
6	1	4	6	8
7	1	4	5	7
8	1	4	6	7
9	1	4	6	8
10	1	4	5	7
11	3	4	6	8
12	2	3	5	7
13	2	3	4	6
14	2	3	4	6

Аудиторія 702

Стовпи	Віхи (тверді пункти)			
1	1	3	4	8
2	1	2	4	8
3	2	3	4	8
4	2	3	4	7
5	3	4	6	8
6	2	4	6	8
7	1	3	6	7
8	2	3	6	8
9	1	3	5	7
10	2	3	5	8
11	2	5	6	8
12	1	4	5	7
13	4	5	6	8
14	1	4	5	6

Аудиторія 708

Стовпи	Віхи (тверді пункти)			
1	3	5	7	8
2	3	4	7	8
3	3	4	7	8
4	4	6	7	8
5	4	6	7	8
6	4	6	7	8
7	1	4	6	7
8	1	3	6	8
9	1	3	7	8
10	2	3	7	8
11	1	3	7	8
12	3	4	7	8
13	3	4	7	8
14	3	4	7	8

Аудиторія 710

Стовпи	Віхи (тверді пункти)			
1	1	3	4	8
2	1	2	4	8
3	1	3	7	8
4	1	2	4	8
5	1	2	4	7
6	2	4	6	8
7	2	3	6	8
8	1	3	6	7
9	2	3	6	8
10	1	3	5	7
11	1	3	5	7
12	2	5	7	8
13	1	4	5	7

Додаток Е
Варіанти завдань для подвійної задачі Ганзена

Аудиторія 701

Стовпи			Віхи (тверді пункти)	
1	11	4	6	8
3	12	5	5	8
2	10	6	6	8
7	14	8	4	6

Аудиторія 702

Стовпи			Віхи (тверді пункти)	
1	11	3	2	8
10	2	12	2	7
4	13	5	1	7
6	14	7	6	8

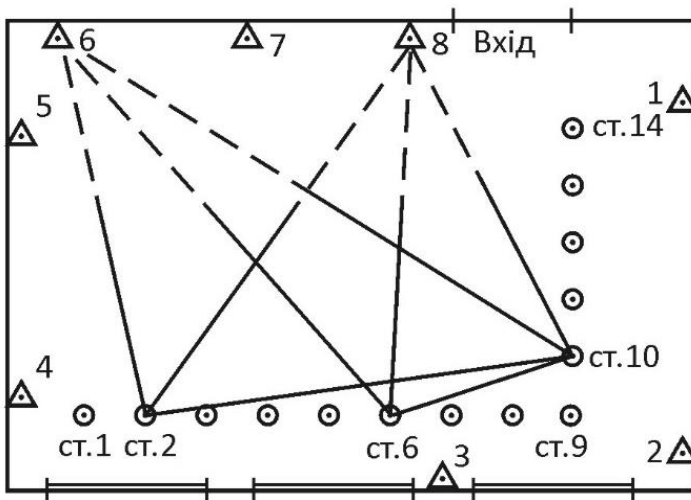
Аудиторія 708

Стовпи			Віхи (тверді пункти)	
1	7	2	4	6
3	9	4	6	8
5	10	6	7	8
13	8	14	2	8
11	4	12	7	8

Аудиторія 710

Стовпи			Віхи (тверді пункти)	
1	10	2	3	8
3	11	4	2	8
5	12	6	2	8
7	13	8	1	7

Приклад схеми до подвійної задачі Ганзена в ауд. 701



Додаток Ж
Варіанти завдань для знесення координат на землю

Аудиторія 701

Стовпи			Віхи (тверді пункти)	
1	10	3	7	4
2	11	4	7	4
5	13	7	6	3
6	14	8	6	2

Аудиторія 702

Стовпи			Віхи (тверді пункти)	
2	9	3	3	7
11	1	12	8	4
4	14	6	7	4
5	13	7	1	5

Примітка: в цій та наступних таблицях додатку середній стовп – пункт знесення; перша віха – вихідний пункт з якого зносять координати.

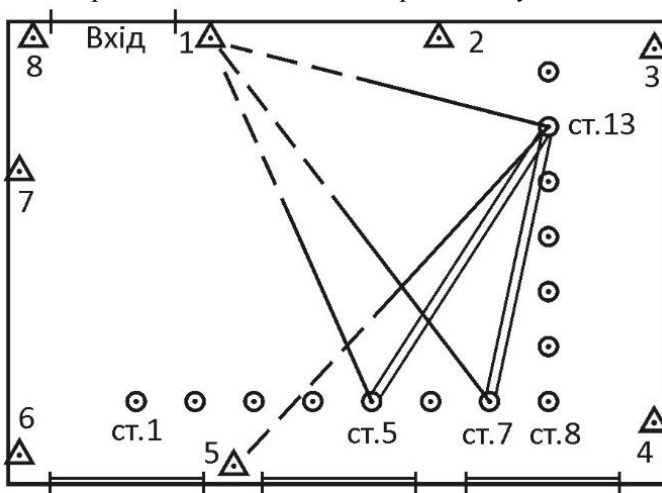
Аудиторія 708

Стовпи			Віхи (тверді пункти)	
1	13	2	7	8
14	3	12	8	6
4	9	5	6	1
10	6	11	1	5
7	14	8	1	4

Аудиторія 710

Стовпи			Віхи (тверді пункти)	
7	13	8	1	5
5	12	6	1	5
3	11	4	2	5
1	10	2	2	5

Приклад схеми знесення координат в ауд. 702



Додаток К
Варіанти завдань для прямої кутової засічки

Аудиторія 701

Стовпи (тверді пункти)			Віха
1	10	2	7
3	12	4	6
5	13	6	5
7	14	8	4

Аудиторія 702

Стовпи (тверді пункти)			Віха
6	14	7	7
4	13	5	1
2	12	3	4
1	11	2	8

Примітка: в цій та наступних таблицях додатку середній стовп повинен мати видимість на два крайні

Аудиторія 708

Стовпи (тверді пункти)			Віха
2	9	3	6
13	1	14	7
11	6	12	1
4	10	5	6
7	14	8	1

Аудиторія 710

Стовпи (тверді пункти)			Віха
7	13	8	1
5	12	6	1
3	11	4	1
1	10	2	8

Приклад схеми прямої багатократної кутової засічки в ауд. 707

