

Грачов А. П.

ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ В ПЕЧЕРАХ

Практичні рекомендації для спелеотопографа

Топографічна зйомка печери - це комплекс топографо-геодезичних робіт для визначення форми та розміру печери. За матеріалами топографічної зйомки складається топографічний план печери, який є основним доказом проходження печери і надалі використовується для розв'язування ряду завдань, таких як спортивні, наукові, господарські, інженерні та інші.

Зміст

Частина 1. Топографічна зйомка печер, класична (огляд).	3
1.1. Прилади.	3
1.2. Зйомка.	5
1.3. Камеральна обробка матеріалів топографічної зйомки.	7
1.4. Визначення розмірів печери.	7
Висновок першої частини	9
Частина 2. Топографо-геодезичні роботи в печері.	10
2.1. Обладнання.	10
2.2. Зйомка.	11
2.2.1. Підготовчий етап.	11
2.2.2. Геодезичні роботи. Створення опорної геодезичної мережі.	11
I. Проектування опорної геодезичної мережі.	11
II. Закладання базових і довгострокових точок.	12
III. Прив'язка до пунктів державної геодезичної мережі.	13
IV. Вимірювання в печері.	13
V. Обробка польових вимірів, оцінка точності.	18
2.3. Топографічна зйомка печери.	24
I. Створення знімального обґрунтування (знімальна геодезична мережа).	24
II. Зйомка печери.	25
2.4. Камеральна обробка результатів зйомки, корегування топоплану.	27
2.5. Визначення розмірів печери	31
Список літератури	34
Словник термінів	35

Частина 1. Топографічна зйомка печер, класична (огляд).

Методика топографічної зйомки печер, розроблена в 60-х роках ХХ століття. Ця методика, вдосконалена різними колективами використовується і тепер. Методика добре описана і широко опублікована [6]. В чому її суть? Спрбуємо пригадати...

Прилади та інструменти.

- Магнітний компас із екліметром (краще гірський)
- Рулетка (мірна стрічка)
- Набір пікетів
- Пікетажний журнал
- Транспортир
- Лінійка
- Олівець

Зйомка.

Бригада із двох, трьох людей, починаючи від входу розставляє по ходу печери пронумеровані пікети, вимірює між ними азимут, відстань і кут нахилу. На пікетах вимірюється ширина і висота ходу печери. Усі виміри записують у пікетажний журнал, ведеться абрис. Строго дотримується безперервності зйомки.

Таблиця 1. Приклад запису в пікетажний журнал

№ пікета від-до	Азимут	Відстань	Кут нахилу	Ширина ліво	Ширина право	Висота	примітка
1-2	211	5,5	-5	0,2	1,4	10	
2-3	154	10,2		2,3	4,5	8	Розвилка
2-4	190	4,9	7	0,1	3,3	9	
4-5	220	7,1	-4	1,1	2,6	7	Калюжа
2-6	89	5		2,3	1,4	1	Тупик
5-7	180	8	-3	3	0,2	2	

Камеральна обробка.

На аркуші міліметрівки, починаючи з першого пікету за допомогою транспортира відкладають кут (азимут) на наступний пікет, за допомогою лінійки відкладають відстань між пікетами в масштабі (масштаб як правило 1:500, тобто у 1 см – 5 м), точками відзначають відстань до стін печери (ширину ходу). Далі точки, що визначають стіни з'єднуються між собою плавною кривою, малюють умовними знаками уступи, озера і т.д., вказується напрямок на північ, прописується масштаб топоплану, назва печери і її місце розташування, метрична інформація, склад групи, дата зйомки. Усе, топоплан печери готовий.

От така премудрість: просто, швидко і точно. Використовуючи нашу карту, ніхто в печері не заблукає!

Але чи так усе просто. Розглянемо більш детально.

1.1. Прилади.

Магнітний компас.

Всі знають, що таке магнітний компас і як він працює, а для тих, хто не знає, поясню.

Принцип дії магнітного компаса полягає в тому, що в приладі, що вказує напрямок, повинне бути якийсь опорний напрямок, від якого відлічувалися б усі інші. Для магнітного компаса таким напрямком є лінія, що з'єднує Північний і Південний магнітні полюси Землі. У цьому напрямку сам собою встановлюється магнітний стрижень, якщо його підвісити так, щоб він міг вільно повертатися в горизонтальній площині. Справа в тому, що в магнітнім полі Землі на магнітний стрижень діє обертаюча пара сил, що встановлює його в напрямку магнітного поля. У магнітному

компасі роль такого стрижня виконує намагнічена стрілка, яка обертаючись на голці, сама встановлюється паралельно магнітному полю Землі.

Виправлення компаса - це відхилення його показника від дійсного Північного полюса. Її причини - девіація магнітної стрілки і магнітне відмінювання.

Девіація - відхилення магнітної стрілки компаса від напрямку магнітного меридіана під дією місцевого магнітного поля. Тут все просто. Зніміть із себе все залізне, заберіть подалі батарейки, ліхтар, карбідку, застібку «блискавка» і ніякої девіації.

Магнітне відмінювання - кутова різниця між магнітним і дійсним полюсом обумовлена тим, що магнітний північний полюс Землі зміщений щодо дійсного, географічного. А ще магнітне відмінювання змінюється за часом і від точки до точки на земній поверхні. Тобто, якщо в районі Борщова за станом на 1985 рік було відмінювання східне $3^{\circ}07'$, а річна зміна відмінювання східна $0^{\circ}01'$, нескладно вирахувати, на скільки змінилося відмінювання, починаючи з 60-х років.

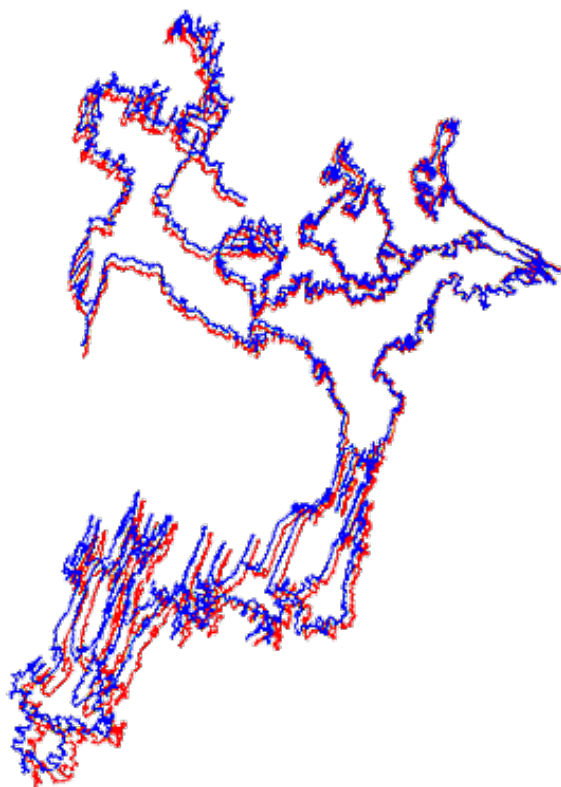
От технічні характеристики гірського компаса ГК-2.

- Ціна поділу азимутального кільця 1° .
- Ціна поділу шкали високу 1° .

Застій стрілки: компаса $\pm 30'$; високу $\pm 1^{\circ}$

Отже, як не намагайся, але точніше 1° вимір не зробиш. Не призначений компас ГК-2 для топографії. Це інструмент геолога, а не топографа.

Малюнок 1. Ілюстрація до того, що буде, якщо ми помилилися у вимірі азимута першої лінії.



Синій контур повернуто щодо червоного всього на 1° .

Вісь повороту - точка входу в печеру.

Максимальна відстань між контурами (на півдні) склала 72 метра !

Рулетка (мірна стрічка).

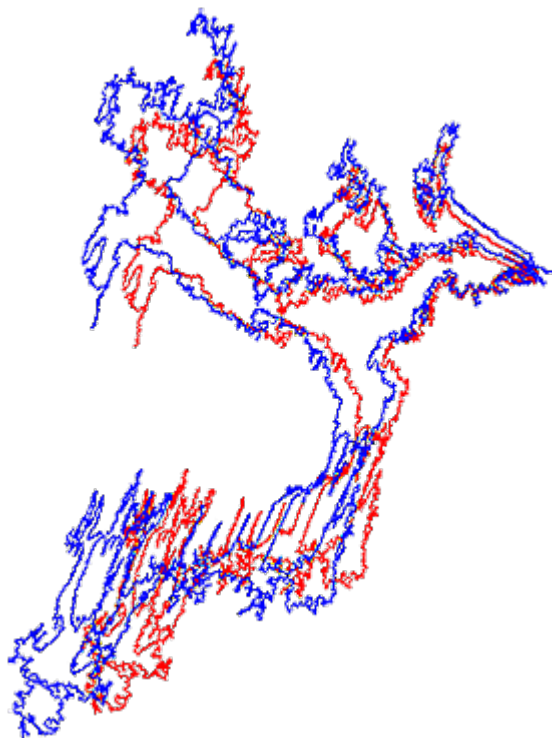
Отут начебто все ясно, рулетка не повинна бути сталевою, рулетка не повинна розтягуватися, рулетка не повинна паскудитися... Якось не реально виходить. Сталева не підходить, купимо капронову, з'ясуємо коефіцієнт лінійного розтягання (для введення виправлення) і будемо постійно витирати її від налиплої глини, поки цифри не зітруться. Або може, ну її цю рулетку (мороки занадто багато), візьмемо мотузку, нав'яжемо на неї вузлики, і добре буде, витирати не потрібно, та і згортається легко...

До речі, це рекомендації всім відомій «Методика описания пещер» яка схвалена всіма можливими і неможливими радами і комісіями [6] «Наиболее удобна парусиновая лента,

пропитанная шеллаком, или мерный шнур из нерастягивающегося материала с узелками, завязанными через каждый метр...»

Якось смішно виглядає? Але, на жаль, саме так досить часто робили, коли капронові рулетки були в страшному дефіциті, а про лазерний далекомір читали у фантастичних романах.

Малюнок 2. Ілюстрація, до того, що буде, якщо ми зробили всього 5000 вимірів і помилилися в кожному на $\pm 0,05$ м. при випадковій компенсації.



Максимальна відстань між контурами

на півдні - 360 метрів

на півночі - 230 метрів

на сході - 40 метрів

на заході - 210 метрів

Все, про інструменти досить, тут все зрозуміло. Давайте поговоримо про найголовніше - про польові роботи, тобто про саму топозйомку.

1.2 Зйомка.

Як ми вже знаємо, бригада із двох, трьох людей, починаючи від входу, розставляючи по ходу печери пронумеровані пікети, вимірює між ними азимут, відстань і кут нахилу, ліву і праву ширину ходу і його висоту...

Пікети.

Пікет - це картонний або паперовий (іноді використовують пластик або фольгу) прямокутник на якому написаний порядковий номер і іноді код знімальної бригади. Тобто пікет - це точка знімального обґрунтування, яка повинна закріплюватися надійно і надовго. Але, на жаль, не завжди можешся, як хочеться. Картон і папір швидко гниють в умовах печери, пікет, приліплений на стіну іноді падає, і його або затоптують у глину, або кладуть на «місце», однак найчастіше зовсім не на те, де він лежав раніше.

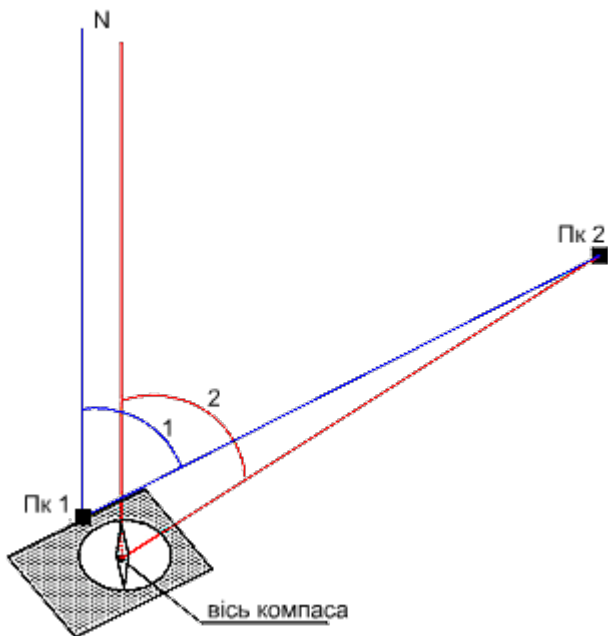
І як бути, як продовжувати зйомку, якщо кінцевого пікету ні, або він явно не на тому місці. Починати спочатку чи як?

Вимірювання азимута.

Отут зовсім просто. Беремо компас, ставимо його на пікет, направляємо на другий пікет, відраховуємо азимут по північному кінцю стрілки (у випадку, якщо у вас гірський компас, у нього лімба оцифрован проти годинникової стрілки), записуємо результат у журнал.

Не все так просто, як здається. Справа в тому, що в компаса, як і будь-якого кутомірного прилада є вертикальна вісь, яка повинна збігатися з вершиною вимірюваного кута, а це значить, що цю саму вісь потрібно точно зіставити із центром пікету.

Малюнок 3. Ілюстрація до того, що буде, якщо вісь компаса не збігається із центром пікету.



Вірите чи ні, але кути 1 і 2 різні!

Можете перевірити.

На малюнку:

Кут 1 - $63^{\circ}10'26''$

Кут 2 - $57^{\circ}36'58''$

Але як, же досягти співвісності? Важко, якщо немає штатива. А як використовувати штатив, якщо пікет на стіну приліплений...? Щось зовсім скрутно стало...

Можна ще поговорити про залипання магнітної стрілки, точності наведення, точності спостереження, про девіації. Хоча, про девіацію ми вже говорили.

Вимірювання відстані.

Добре коли є лазерний далекомір: приклав, натиснув, отримав результат. А коли його немає. Натягнув рулетку, затис пальцем, витер глину, зняв відлік... і прочитав замість 13-ти 18. Мірна стрічка краще! Натягнув... і давай рахувати вузлики, парочку пропустив, а сантиметри на око.

Ну, в цілому поміряли...

Вимірювання кутів нахилу.

Колись ми всі вчили теорему Піфагора, і більшість її пам'ятають. Тому про важливість вимірювання кута нахилу говорити не буду. Поговоримо краще про те, як його вимірювати.

Стаємо на пікет, беремо екліметр, дивимося через нього на товариша, що стоїть на іншому пікеті, знімаємо відлік, записуємо. Все.

Ні, не все. Справа в тому, що висота екліметра на точці спостереження повинна відповідати висоті маркера на спостережуваній точці. Інакше доводиться вводити поправку. А для того, щоб вводити поправку, потрібно знати різницю цих висот.

Що, ще один параметр, так ну його. І взагалі для обчислення горизонтального прокладання, кутами до $\pm 3^{\circ}$ можна зневажати. А перевищення? Так кому потрібні ці перевищення...

До речі про перевищення. Читаючи «Методику описания пещер» [6], я наткнувся на чудову фразу:

«При съёмке лабиринтов "подольского" типа, заложенных в пластах гипса малой мощности (от 10 до 30 м), высотная съёмка практически не ведётся, так как в результате накопления ошибок пещера выходит за границы толщ карстующихся пород....» (!).

Он як. Виходячи із логіки автора, у результаті нагромадження помилок, велика і глибока каскадна шахта вийде за межі земної кори..., а далі, ще цікавіше і загадковіше:

«В пещерах озерного типа, напротив, трудно однозначно выделить направление стока, и они чаще всего имеют лабиринтный характер. Преимущественные направления в такой пещере следует задавать ориентировкой сетки тектонических трещин в массиве, поскольку галереи не имеют выделенных гидрологических направлений, и, как правило, прямолинейны в плане. Продольные профили галерей таких пещер можно давать в виде отдельных строгих проекций на вертикальные плоскости, совпадающие с направлениями трещин. Высотную увязку всех галерей можно делать, показывая в масштабе уровень их дна относительно линии входа в пещеру...» (!?)

Цікаво, про що думав автор...

Вимірювання ширини і висоти галерей.

Ширину галерей вимірюють на пікеті вліво і вправо від напрямку руху по висоті ніг знімальника. Що тільки на пікеті? А як бути, якщо ширина ходу між пікетами відрізняється від тієї, що на пікеті..., ставити новий пікет... та ну його, так зійде. А висота, що теж тільки на пікеті? А якщо до стелі не дотягтися, або її не видно? Не страшно, надмемо гелієм кульку і запустимо в незвідане, бо гелію й кульок у нас із собою хоч греблю гати [6].

1.3. Камеральна обробка матеріалів топографічної зйомки.

На аркуші міліметровки ставимо точку і називаємо її першим пікетом. Прикладаємо до неї транспортир і відкладаємо азимут на другий пікет, ставимо тимчасову точку. Далі, з'єднуючи ці дві точки лінійкою, відкладаємо виправлене (приведене до горизонту) відстань у потрібному нам масштабі (як правило, використовується масштаб 1:500), ставимо точку і називаємо її другим пікетом. І так доти, поки записи в пікетажному журналі не скінчаться. Вийшов кістяк печери. Після цього на кожному пікеті відкладаємо значення лівої і правої ширини ходів. З'єднуємо ці точки плавною кривою лінією.

Усе, план печери готовий, та тільки не точний і з помилками. Чому? Давайте розберемося.

Транспортир

Існує кілька типів транспортирів - шкільний і геодезичний. У чому між ними різниця? У точності. У геодезичного транспортира ціна розподілу шкали 30', а виходить, що їм можна відкласти кут з точністю до 15'. Ха, навіщо нам якісь 15' це якщо ми поміряли кут з точністю більше 1°, та і де взяти цей самий геодезичний транспортир. Використовуємо шкільний, у нього ціна поділу 1° або навіть більше, саме те, що потрібно. І накопичується кутова помилка, починаючи з першого пікету.

Лінійка

У кожної лінійки є свої обмеження, і це все та ж ціна розподілу шкали. У лінійки вона 1 мм, а в масштабі 1:500, 1 мм рівний 0,5 м. Можна звичайно використовувати циркуль вимірник і масштабну лінійку з поперечним масштабом і тоді можна відкласти довжину з точністю 0,01м. Але де знайти таку лінійку, та і з циркулем мороки багато. І накопичується лінійна помилка, починаючи з найпершого пікету.

Можна звичайно взяти калькулятор або таблицю Брадїса і спробувати використовувати систему прямокутних координат, точніше буде. Але де взяти калькулятор в 60-х 70-х та і у 80-х роках, а з таблицею Брадїса мороки багато...

Оновлення топоплану.

Уявіть собі, що років 30 тому назад знайшли ми печеру, кілометрів із двадцять. Зробили топозйомку, склали топоплан і змінили компас на лопату. І після довгих і завзятих розкопок... от він довгоочікуваний новий район, і який великий! Міняємо лопату на компас і давай знімати. Зняли. Стикуємо стару зйомку з нової, а вони не стикуються. Чому? Шукаємо причину... начебто і пікет старий не порушили і методику зйомки не порушили, а воно таки не лізе. А може вся справа в горезвісному магнітному відмінюванні і його щорічній зміні... Запитуємо у ветеранів чи вводили поправку за магнітне відмінювання, а вони не пам'ятають, геть скільки років минуло. І що робити, склеїмо як вийде. І почали райони (добре зняті локально) розвертатися друг щодо друга в різні сторони. А що робити, якщо старий пікет згнив або його просто закопали...

1.4. Визначення розмірів печери.

Усі знають, що кожна печера повинна мати деякі характеристик такі як довжина, глибина, амплітуда, площа, об'єм, коефіцієнт Корбеля і т.п. і всі ці показники необхідно обчислити. Як? Подивимося, що з цього приводу кажуть першоджерела.

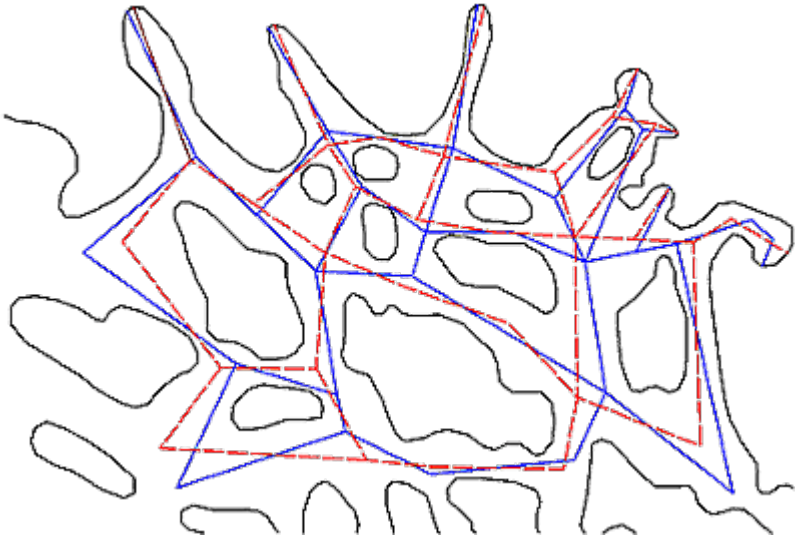
Довжина печери.

В «Методике описания пещер» [6] читаємо:

«Общая длина (L , м) - ее следует определять как сумму длины всех галерей пещеры без поправки на угол наклона. В этом кроется источник разночтений длины одной и той же пещеры, так как при расчете по готовому плану, а не по журналу топоъемки длина пещеры будет занижена на 2-5% при пологом и на 5-30% при крутом падении ее ходов»

Он воно як! Виходячи із цього, довжину печери слід визначати підсумовуючи не приведені на горизонтальну площину відстані із пікетажного журналу. І що ми отримаємо..., адже по печері можна ходити по-різному і пікети можна ставити по-різному, і що цікаво, на кінцевий результат (на топоплан) це не вплине, а от на довжину печери вплине і навіть дуже.

Малюнок 4. Ілюстрація до того, як може відрізняться сума довжин з пікетажного журналу від суми довжин з іншого пікетажного журналу (фрагмент печери Вертеба)



Сума червоних ліній - 214,47 м

Сума синіх ліній - 240,71 м

Ух ти, різниця 26,24 м на маленькому клаптику печери. І яку довжину будемо вважати правильною?

Або уявіть собі наступне, ідемо ми по галереї, а перед нами навал каменів або висипка або глибока яма із крутими схилами, або величезна купа глини через які потрібно перелізти (приміром, хід «Бечо» у Млинках). Як ви думаєте, яка буде різниця між обмірюваною довжиною і дійсною. І взагалі чи зможемо ми врахувати всі нерівності підлоги печери для того щоб визначити її загальну, не приведену до горизонту довжину?

Глибина печери, амплітуда.

Знову звертаємося до «Методика описания пещер»

«Общая глубина (H , м) - определяется как расстояние по вертикали от входа до самой нижней точки полости. В случае заложения полости в борту крутостенной воронки обычно учитывается и ее глубина от топографического гребня... Для пещер, галереи которых располагаются выше основного входа или выше и ниже его, принято применять термин "амплитуда" (A , м) - расстояние по вертикали от самой верхней до самой нижней точки»

Ух, зовсім недавно в цій самій «Методиці» читав, що «При съёмке лабиринтов "подольского" типа, заложённых в пластах гипса малой мощности (от 10 до 30 м), высотная съёмка практически не ведётся...».

Якось не послідовно...

Площа та об'єм.

Тут вже зовсім погано. Адже при складних поперечних перетинах ходів печери її точну площу визначити практично неможливо. А якщо неможливо визначити площу, що тоді казати про об'єм. Про складності та (або) неможливість вимірювання висоти галерей і різниці цих висот навіть згадувати не буду.

Однак в «Методике описания пещер» написано:

«Объем пещеры (V , куб. м) определяется по следующей формуле: $V=K \cdot S \cdot H$, где K - коэффициент, учитывающий характер поперечного сечения полости (для прямоугольного - 1,0; для овального и круглого - 0,78; для треугольного сечения - 0,5); S - площадь пола, кв. м; H - средняя высота по оси хода, м.»

З першоджерелом не посперечаєшся, вираховуйте і площу і об'єм, якщо вам подобаються абстрактні величини...

Усе вистачить. Робимо висновок.

Висновок першої частини

Магнітна стрілка та все що з нею пов'язане, помилка центрування, помилка наведення, помилка спостереження, «мірна» стрічка з вузликami, загублені пікети, відсутність контролю вимірів, дерев'яний транспортер, нагромадження помилок, недоліки методики, слабо навчений персонал, багаторазове калькування... Цей список можна продовжувати довго.

Все це привело до того, що форма та розміри печер на більшості існуючих топографічних планах не відповідають дійсності, а виходить, даний матеріал не можна використовувати для розв'язування будь яких завдань. Адже наявність помилок у геодезичних вимірах завжди спричиняло додаткові часові та матеріальні витрати.

Але на сьогоднішній день усі відомі печери зняті, складені їхні топографічні плани. І над цим десятиліттями трудилися сотні спелеологів... Зняті сотні кілометрів...

І що робити? Чи можливо це якось виправити. Або простіше милуватися гарним, але не достовірним, а відповідно нікому не потрібним планом печери.... Ні, краще виправити!

Як?

Читаємо далі...

Частина 2. Топографо-геодезичні роботи в печері.

2.1. Обладнання.

Отже, викинемо магнітний компас і тим самим назавжди забудемо про виправлення компаса, девіацію, магнітне відмінюванні і річній зміні магнітного відмінювання. Забудемо про рулетки, мірні стрічки і інші мотузочки. Здамо в макулатуру паперові пікети і викинемо транспортир з лінійкою.

Теодоліт або електронний тахеометр прилади гарні, точні, але в печеру їх тягти не будемо. Вони великі, важкі, дорогі, мороки з ними багато, знання потрібні спеціальні. Зупинимося на чомусь простіше.

Бусоль БГ-1 призначена для вимірювання румбів, азимутів і горизонтальних кутів, та укомплектована виском і може встановлюватися як на штатив, так і на кіл.

Технічні характеристики бусолі БГ-1

Діапазон виміру румбів в кожній чверті	від 0° до 90°
Діапазон виміру магнітних азимутів і кутів	від 0° до 360°
Ціна поділки шкали румбів і горизонтального лімба	1°
Ціна поділки верньєрів	55′
Межа допустимої СКП вимірювання магнітних азимутів і румбів	30′
Межа допустимої СКП вимірювання горизонтальних кутів	10′
Поріг чутливості бусолі. Не більше	16′
Робоча температура	від - 40°C до + 50°C
Маса, не більше	400 грн
Середній термін служби, не менше	6 років



Бусоль гарний інструмент але використовувати штатний предметний діоптр в умовах печери дуже незручно. Я його замінив на лазерний цілепоказчик, стало набагато краще

DistoX - чудовий прилад три в одному. Створений на базі лазерного далекоміра Leica Disto A3 поєднує в собі компас, екліметр, далекомір, Bluetooth.

У комбінації з любим КПК він робить топозйомку печер не тільки приємною але і значно спрощує та прискорює весь процес. Ми використовували його при топозйомці печери «Мушкарова яма» і відзняли 5 км лабіринту і залів приблизно за 15 годин.

При правильному калібруванні, що виключає або значно знижує впливи девіації точність визначення азимута становить 15-20′.

Докладніше читайте отут: <http://paperless.bheeb.ch>

Кутомір - це саморобний інструмент, призначений для вимірювання горизонтальних кутів і кутів нахилу. Кутомір, це лімба діаметром 30 см, на осі якого вільно обертаються дві лінійки оснащені шкалою верньєра і гачком для кріплення нитки.

Інструмент зручний для вимірювання кутів у вузьких ходах і колодязях. Горизонтальний кут вимірюється так само, як і бусоллю тільки наведення на точку здійснюється не за допомогою діоптрів як у бусолі, а обертанням лінійки при натягу прикріпленої до неї нитки. Вертикальний кут (кут нахилу) вимірюється, поставивши кутомір на ребро, при цьому одна з лінійок служить високом. Недоліком є те, що інструмент застосовуємо тільки на коротких лініях до 10м, а через кустарне складання доводиться враховувати ексцентриситет.



Екліметр призначений для вимірювання кутів нахилу (вертикальних кутів). Підійде будь-який екліметр здатний виміряти кут нахилу з точністю до 30'.

Далекомір призначений для вимірювання відстаней. Підійде будь-який лазерний далекомір здатний виміряти відстань до 100 м з точністю $\pm 0,01$ м, і обладнаний вбудованою пам'яттю.

Штатив призначений для установки бусолі, кутоміра і екліметра. Підійде будь-який фотоштатив доповнений кріпленням для бусолі, кутоміра та екліметра, а також розпірним обладнанням для установки в щілиноподібних галереях (перехідний район у печері Озерна).

Візирна марка використовується для наведення на неї нитки предметного діоптра бусолі, екліметра, лазерного променя DistoX або лазерного далекоміра.

Візирна марка являє собою пластиковий або фанерний ромб зі стороною 20 см. закріплений на телескопічному кілку. Усередину ромба клеїться хрест зі світло відбиваючого матеріалу, який власно і служить для наведення на нього, причому вертикальна риска повинна бути совісною з віссю кола. Одна знімальна бригада повинна бути укомплектована мінімум двома такими візирними марками.

Пікети - це не шматок папірця або картону, це дерев'яний або пластиковий кілок довжиною 20-25 см і діаметром 1-1,5 см із прапорцем на якому написаний його номер.

Цей список можна поповнити будь-якими іншими інструментами, у тому числі саморобними, які здатні виміряти кут з точністю до 10' і відстань із точністю до 0,01м.

2.2. Зйомка.

- Топографічна зйомка печери складається з наступних етапів:
- Підготовчий етап
- Геодезичні роботи. Створення опорної геодезичної мережі
- Топографічна зйомка печери
- Камеральна обробка результатів зйомки, коректування топоплана
- Визначення розмірів печери

2.2.1. Підготовчий етап.

На підготовчому етапі визначається обсяг майбутніх робіт, намічається загальний хід виконання робіт, необхідна кількість бригад і устаткування, підбирається вихідний картографічний матеріал. Для робіт у відомих печерах у якості вихідного матеріалу використовується наявний план печери. У нових, невідомих печерах проводиться окомірна (напівінструментальна) зйомка. Також печеру розбивають на знімальні райони і закріплюють за конкретними бригадами.

2.2.2. Геодезичні роботи. Створення опорної геодезичної мережі.

Цей етап містить у собі:

- I Проектування опорної геодезичної мережі
- II Закладання базових і довгострокових точок
- III Прив'язка до пунктів державної геодезичної мережі
- IV Вимірювання в печері
- V Обробка польових вимірів, оцінка точності

I. Проектування опорної геодезичної мережі.

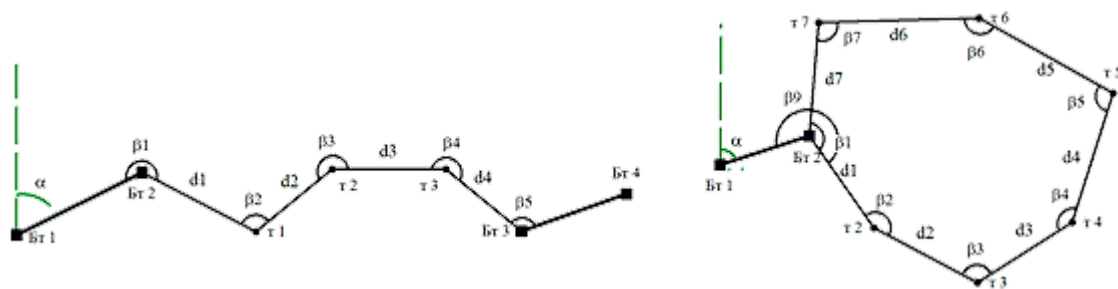
Опорна геодезична мережа складається із:

На поверхні - пари базових точок (геодезичних знаків), прив'язаних до Державної геодезичної мережі (ДГМ). Базові точки, закладені на поверхні в безпосередній близькості від входу в печеру, є вихідними пунктами для прокладання опорної геодезичної мережі в печері та виконання топографічної зйомки поверхні. Так само їх можна використовувати для калібрування приладів.

У печері - із системи замкнених і (або) розімкнених кутових-лінійно-кутових ходів, що проходять (по можливості) по легкопроходимим галереям з мінімальною кількістю кутів повороту, при цьому

хід не повинен перетинати самого себе, тобто утворювати петлі або вісімки. У ключових місцях кути повороту ходи закріплюються парами довгострокових (базових) точок. Базові точки служать як вихідні пункти для створення знімальної мережі та проведення топографічної зйомки печери.

Малюнок 5. Схеми кутових-лінійно-кутових ходів. 1 - розімкнутий, 2 - замкнений



Місця проходження кутових-лінійно-кутових ходів, слабкі ланки і місця закріплення довгострокових (базових) точок відзначаються на плані печери відповідними умовними знаками. У печері лінії проходження кутових-лінійно-кутових ходів доцільно маркувати ниткою, це значно полегшить подальшу роботу.

Малюнок 6. Проект опорної геодезичної мережі на прикладі печери Вертеба.



II. Закладання базових і довгострокових точок.

Способів закріплення точок можна придумати багато. На поверхні це може бути дюбель, забитий у пень або асфальт. У печері - дюбель у камені, шуруп або дюбель зі високом у стелі, чотири дюбелі на перехресті або поперек галереї з натягнутими між ними нитками (проекція перехрещення ниток на підлогу є точкою) і т.д. Але всі способи повинні відповідати наступним вимогам:

- Місце закріплення точки повинне забезпечити можливість встановити інструмента і вільний доступ до нього.
- Точки повинні складатися з немагнітного матеріалу.
- Точки повинні бути підписані.
- Точки повинні становити пари із взаємною видимістю.

- У печері відстань між довгочасними точками в парі повинне бути не менш 5 м.
- На поверхні відстань між базовими точками повинне бути не менш 50 м.
- Для кожної точки повинні бути виконані кроки.

III. Прив'язка до пунктів державної геодезичної мережі.

Прив'язка до пунктів державної геодезичної мережі необхідна. А що за прив'язка така? Прив'язка до ДГМ - це значить, що ми передаємо координати X , Y і висоту H від пункту ДГМ із відомими координатами, на пару базових точок закладених у безпосередній близькості від входу в печеру. Виконавши прив'язку, ми зможемо згодом передати координати (у державній системі координат) і абсолютну висоту в будь-яку точку печери, будемо мати можливість побачити взаємне розташування печер у регіоні, використовувати різноманітний, картографічний матеріал як підкладку для аналізу і пошуку можливого продовження печери і т.п. Без прив'язки до ДГМ ми одержимо всього лише гарну картинку печери, але не більше.

Виконати прив'язку до ДГМ можна двома способами:

1. Наземний метод - це прокладка теодолітних ходів, мікротріангуляція, засічки. Спосіб класичний, надійний, але потребуючий спеціальних знань в галузі геодезії та є достатньо трудомісткий.
2. Автономний супутниковий метод - це використання комплекту геодезичних приймачів GPS. Саме геодезичних приймачів, При використанні кишенькового (навігаційного) приймача помилка визначення координат точки може бути достатньо велика. Зверніть увагу на значення DOP у вашім приймачі в момент вимірювання, воно повинне бути від 1 до 8, якщо DOP вище, результати можна викидати. При значенні DOP близько 50, помилка визначення координат може скласти більш 100 м. Але і цей спосіб вимагає спеціальних знань і навичок, та і прилади коштують недешево. Так що робити? Відмовитися від прив'язки, але тоді ми не отримаємо те, до чого прагнемо. Ні, відмовлятися не потрібно. У наш час у кожній області і у кожному районі нашої країни є організації, що виконують (за доступними цінами) такі роботи.

IV. Вимірювання в печері.

Завдяки прив'язці до пунктів ДГМ, у нас є пари базових точок на поверхні, які мають координати X , Y у системі координат СК-42 або СК-63 або WGS-84 (не має особливого значення) і висоту "H" у Балтійській системі висот.

Завдяки самовідданим вишукуванням і завзятості в нас є проект опорної геодезичної мережі і закріплені по всій печері довгострокові (базові) точки, на яких зручно проводити вимірювання. Також є промаркований маршрут.

У нас є досить точний кутомірний прилад (бусоль Бг-1) і гарний лазерний далекомір. Є дві візирні марки і комплект пікетів.

Отже, зібравши бригади із трьох (краще чотирьох) людей починаємо вимірювання.

Усе починається з розподілу ролей у бригаді. Перший робітник з візирною маркою і комплектом пікетів спереду, другий робітник з візирною маркою позаду. Між ними інженер із приладом, поруч із інженером помічник «записатор» з журналом. Порядок цей не порушуємо і починаємо вимірювання.

Перша стоянка інженера із приладом буде на одній із закладених на поверхні базовій точці. Він центрує прилад строго над точкою і виставляє його по горизонту.

Перший робітник (досвідчений топознімальник) на вході в печеру встановлює першу точку (т 1), якщо вона не була встановлена заздалегідь на підготовчому етапі, і ставить на неї візирну марку. Другий робітник ставить візирну марку, на другу, закріплену на поверхні базову точку.

Інженер вимірює горизонтальний кут, кут нахилу і відстань між цими точками.

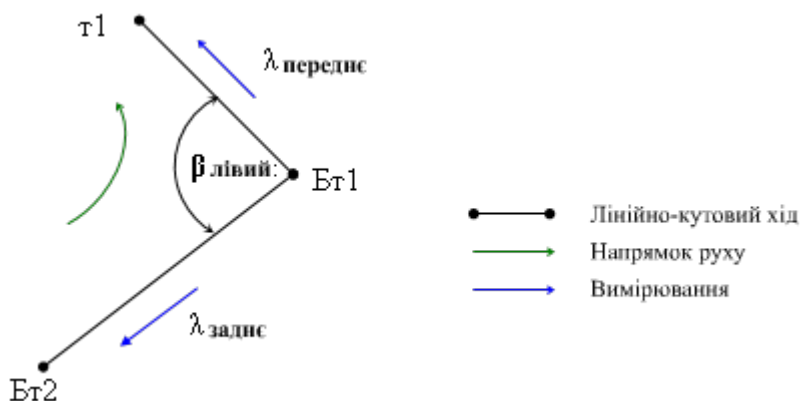
«Записатор» веде журнал.

Виконавши всі необхідні дії, бригада переміщається вперед на одну точку. І так до переможного кінця, по заздалегідь запроектованому маршруту. Начебто все зрозуміло. Ні не все. Що таке горизонтальний кут, що таке кут нахилу і як їх вимірювати?

Способи вимірювання горизонтальних кутів

Горизонтальний кут (β) - кут у горизонтальній площині, що відповідає двохгранному куту між двома вертикальними площинами, що проходять через прямовисну лінію у вершині кута. Горизонтальні кути змінюються від 0° до 360° . Розрізняють лівий і правий горизонтальний кут по напрямкові руху.

Малюнок 7. Вимірювання горизонтального кута.



Припустимо, нам потрібно виміряти горизонтальний кут β при Бт1. Встановлюємо бусоль на Бт1, виставляємо її по горизонту і виконуємо наступні дії:

Перший напівприйом.

Поворотом алідади сполучаємо нитку предметного діоптра з вертикальною рисою візирної марки на т1 (передня точка), знімаємо відлік (λ) по лімбу (градуси) і по верньєру (хвилини), при очному діоптрі, далі поворотом алідади сполучаємо нитку предметного діоптра з вертикальною рисою візирної марки на Бт2 (задня точка), знімаємо відлік по лімбу і верньєру, при очному діоптрі. Відліки записуємо в журнал, обчислюємо кут.

Лівий по ходу кут: β лівий = λ передній - λ задній,

Правих по ходу кут: β правий = λ задній - λ передній

Другий напівприйом.

Повертаємо лімб приладу на величину близьку до 90° відкріпивши закріпний гвинт перехідної втулки, після чого гвинт закріплюємо та проводимо дії аналогічні першому напівприйому. Відлік записуємо в журнал, обчислюємо кут.

Два напівприйома становлять один повний прийом.

Вимірювання кута двічі дозволяє уникнути грубих помилок і одержати найбільш наближене до фактичного значення кута.

Після проведення вимірів, отримані значення кута в першій і другій напівприйомі порівнюються. Якщо між значеннями кута при кожному напівприйомі розбіжності не перевищують подвійної точності відлікового обладнання (для бусолі БГ-1 це $10'$), то остаточне значення кута обчислюють як середнє арифметичне. Якщо отриманий результат гірше, виміри повторюються.

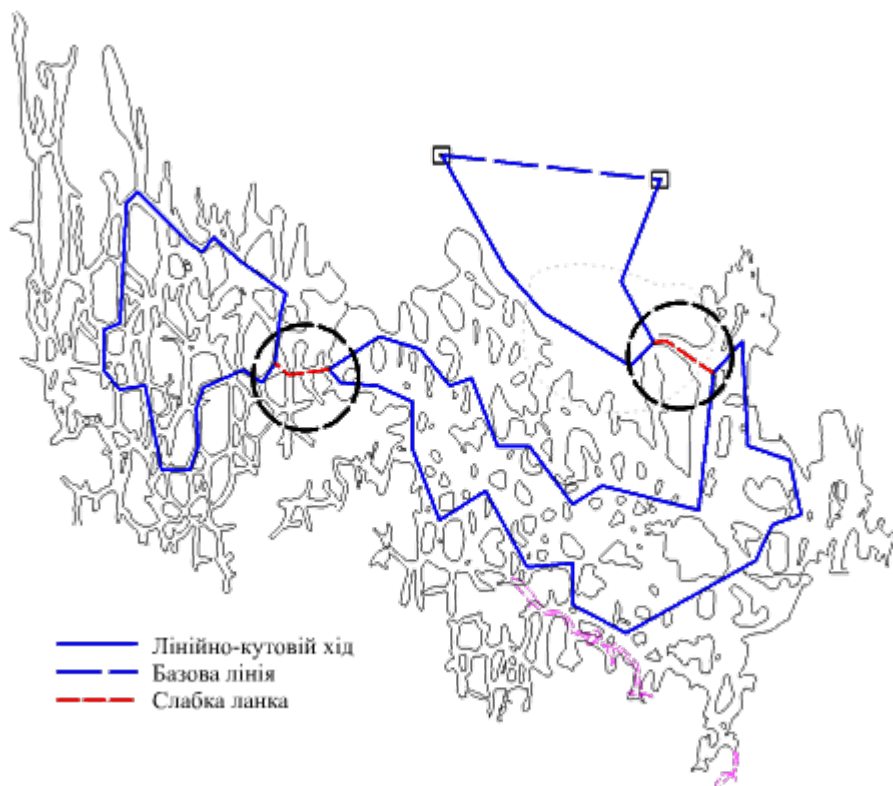
Таблиця 2. Журнал лінійно-кутових вимірів.

Станція	Точка спостереження	Відлік ($\lambda^\circ ' ''$)	Кут гор. ($\beta^\circ ' ''$)	Кут середній ($\beta^\circ ' ''$)	Кут верт ($\pm \gamma^\circ ' ''$)	Відстань вимір (Lm)	Гор прокладання $d(m) = \cos \gamma \times L$	Перевищення $h(m) = \sin \gamma \times L$
Бт1	Бт2	232°45'	106°30'	106°32,5'	-7°10'	12,76	12,66	-1.59
	т1	126°15'			+2°45'	11,52	11,51	+0.55
	Бт2	112°15'	106°35'					
	т1	5°40'						

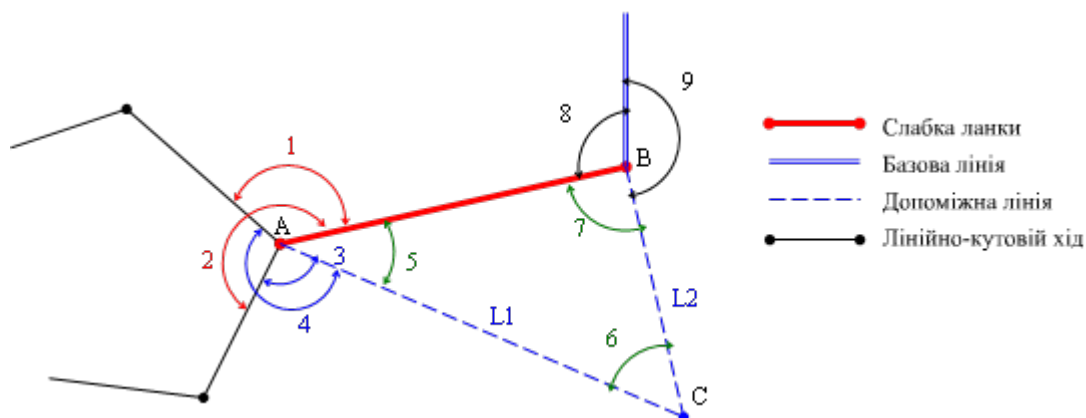
Вимірювання горизонтальних кутів на слабких ланках мережі (рис 8) рекомендується вимірювати не менш чим двома повними прийомами або якщо є можливість, за наступною схемою (мал. 9):

Слабка ланка являє собою частину геодезичної мережі, яка має вихідний пункт із відомими координатами тільки на початку ходу (висячий хід), а значить хід безконтрольний. Слабка ланка виникає на вході в печеру або при переході з одного району печери в іншій. Помилки вимірювання кутів на слабкій ланці може привести до того, що печера або частина печери «розвернеться» і зведе нанівець усі наші зусилля. Щоб уникнути помилок, вимірювання на слабких ланках необхідно проводити особливо ретельно.

Малюнок 8. Слабкі ланки в печері Мушкарова яма.



Малюнок 9. Схема вимірів горизонтальних кутів на слабкій ланці.



Будуємо допоміжні лінії L1 і L2 таким чином, щоб вони разом з лінією слабкої ланки утворювали трикутник. Після чого вимірюємо всі кути, показані на рис 9. Вирішуємо трикутник ABC, двічі замикаємо горизонт при вершині A, сума кутів 2, 3, 5 і кутів 1, 4, 5 повинна бути рівна 360°, і замикаємо горизонт при вершині B сума кутів 7, 8, 9 повинна бути рівна 360°

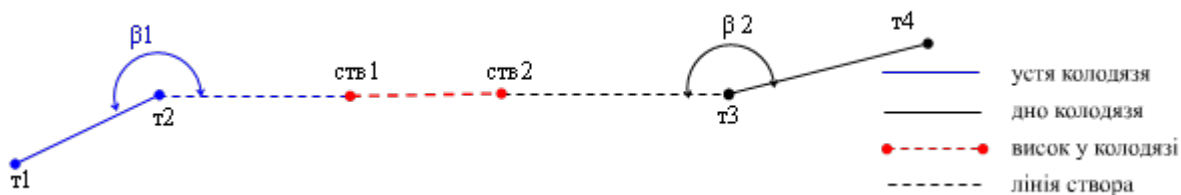
На цьому розмова про способи вимірювання горизонтальних кутів у печері можна було закінчити, якби не колодязі. Що поробити, колодязі існують. І насправді, як виміряти кут у колодязі, якщо немає видимості зверху на нижнє продовження ходу, а знизу на верхнє. Не варто хвилюватися, є як мінімум два способи.

1. Спосіб створу двох високів.

У колодязь опускаємо два високи (ств1, ств2) і закріплюємо їх на верху колодязя в створі лінії (т2-ств2). У якості високів застосовують сталевий дріт з підвешеними на кінцях вантажами.

Вимірюємо кут по створу (β_1) і відстань на кожний висок (t_2 -ств1 і t_2 -ств2). На дні колодязя в створі двох високів ставимо пікет (t_3), який і буде вершиною вимірюваного кута. Вимірюємо кут по створу (β_2) і відстань на кожний висок (t_3 -ств1 і t_3 -ств2). Вихідний напрямок задається по створу високів. Спосіб простий, але менш точний, ніж спосіб сполучного трикутника.

Малюнок 10. Схема вимірів горизонтальних кутів у колодязі (спосіб 1)



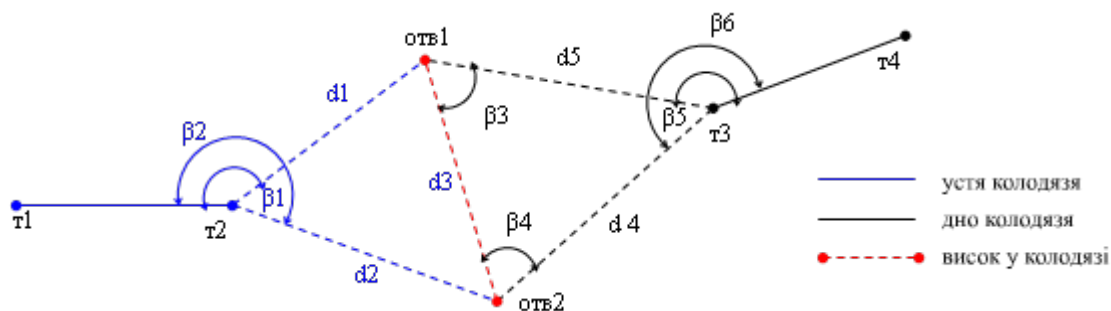
2. Спосіб сполучного трикутника.

У стовбур колодязя опускаємо довільно два високи (отв1, отв2), таким чином, щоб на дні колодязя під кожним з них можна було поставити прилад. Місця кріплення високів підбирають так, щоб форма утворених трикутників була найвигіднішою, тобто кут отв1 - отв2 повинен бути не менш 30° , а відношення сторін d_1/d_3 не повинне перевищувати 1,5. Для збільшення надійності і точності вимірювання можна виконати при трьох високах.

На верху колодязя вимірюємо кути (β_1, β_2) і відстані (d_1, d_2) на високи, також вимірюємо відстань між високами (d_3). На дні колодязя встановлюємо довільно пікет (t_3), на якому вимірюємо кути між кожним високим і наступним по ходу пікетом (β_5, β_6). Після чого по черзі встановлюємо прилад під кожним високим і вимірюємо кути між високами і пікетом (β_3, β_4) і відстань (d_3, d_4). Слід урахувати, що відстань між високами занадто малі, тому кутові виміри варто проводити особливо ретельно.

Спосіб сполучного трикутника більш точний, тому що через наявність надлишкових вимірів, дозволяє робити вирівнювання результатів вимірів.

Малюнок 11. Схема вимірів горизонтальних кутів у колодязі (спосіб 2)



По закінченню вимірів зрівнюємо трикутники, а сторона отв1-отв2 є як би опорною для продовження лінійно-кутового ходу із дна колодязя.

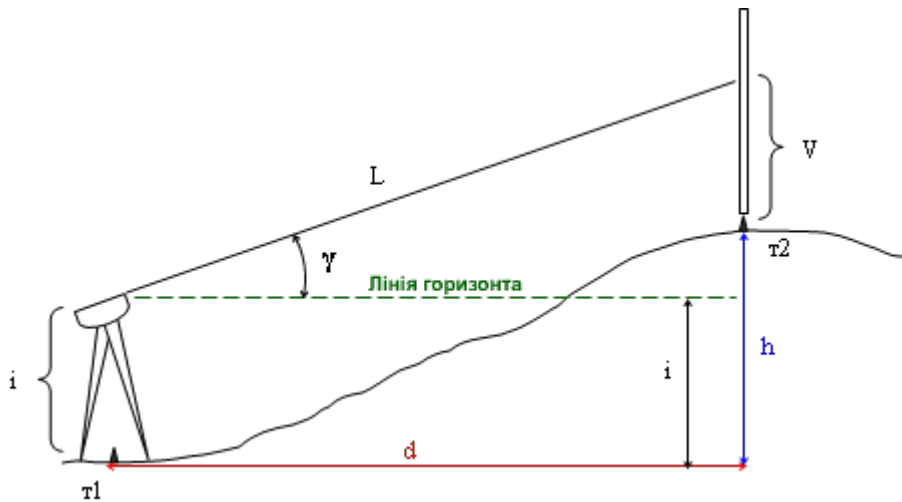
От власно і все про горизонтальні кути, поговоримо про кути нахилу.

Вимірювання вертикального кута (кута нахилу).

Вертикальний кут - це плоский кут, що лежить у вертикальній площині. До вертикальних кутів відносяться, кут нахилу і зенітна відстань.

Кут нахилу, ($\pm\gamma$) - це кут, відлічуваний від горизонтальної площини нагору від 0° до $+90^\circ$, і вниз від 0° до -90° .

Малюнок. 12. Схема вимірів кута нахилу.



Встановлюємо екліметр па точку t_1 , вимірюємо його висоту (i). Встановлюємо візирну марку на точку t_2 , якщо є можливість встановлюємо висоту горизонтальної ризки візирної марки рівній висоті екліметра. Наводимо екліметр на горизонтальну ризку візирної марки, знімаємо відлік. Отриманий звіт записуємо в журнал з урахуванням знака ($\pm\gamma$). Кут нахилу слід вимірювати двічі, прямо і назад по ходу.

Для чого потрібний кут нахилу? Знаючи величину кута нахилу, ми маємо можливість обчислити горизонтальне прокладання лінії її перевищення між точками.

Горизонтальне прокладання лінії:

$d = \cos\gamma \times L$. Причому на лініях до 10 м кут нахилу до 3° можна ігнорувати.

Перевищення між точками, якщо $i=V$:

$h = \sin\gamma \times L$ або $h = \text{tg}\gamma \times d$

Перевищення між точками, якщо $i \neq V$:

$h = \sin\gamma \times L + i - V$ або $h = \text{tg}\gamma \times d + i - V$.

де:

γ - кут нахилу.

L - обмірювана відстань.

d - горизонтальне прокладання лінії.

i - висота інструмента.

V - висота наведення.

Вимірювання відстаней між пікетами, додаткові виміри.

Вимір відстаней між пікетами виконується двічі, прямо і назад. Точність вимірів повинна бути не менш 1:2000. Виміри проводяться лазерним далекоміром, попередньо настроївши його на виміри від задньої точки. Все досить просто, упираємо далекомір у перехідну втулку бусолі, наводимо промінь на перехрещення горизонтальної і вертикальної ризки візирної марки, одержуємо підтвердження від робітника, що промінь там, де потрібно, знімаємо відлік, додаємо до відліку постійну величину (радіус перехідної втулки), записуємо в журнал.

До додаткових вимірів відноситься вимір висоти від підлоги печери до базової точки, якщо вона закладена в стелі або стіні та вимірювання глибин колодязів, через які передаємо горизонтальний кут. У цьому випадку глибина вимірюється по високу на візирну марку, установлену перпендикулярно високу. Вимір ширини галерей не проводиться, це не наше завдання.

От і все. З вимірами закінчили, переходимо до обробки.

V. Обробка польових вимірів, оцінка точності.

Перш ніж приступитися до обробки вимірювання необхідно мати деяку уяву про систему координат прийнятих у геодезії і навчитися вирішувати основні геодезичні задачі.

Система координат.

Одна із систем координат що застосовується у геодезії - це система плоских прямокутних координат Гауса. У цій системі за початок координат у кожній зоні береться перетинання середнього (осьового) меридіана даної зони з екватором. Що це за зона така?

Все просто, уся поверхня Землі умовно розділена на 60 зон меридіанами, проведеними через 6° або 3° . Форма зони - це сферичний двокутник, відлік зон ведеться від Грінвіцького меридіана на схід. Середній меридіан зони називається осьовим; довгота осьового меридіана ϕ_0 будь-якої n -ї зони в східній півкулі підраховується по формулі:

$$\phi_0 = 6^\circ \times n - 3,$$

де n - номер зони

Як це?

Уявимо собі, що земний еліпсоїд вписаний в еліптичний циліндр. Вісь циліндра розташована в площині екватора і проходить через центр еліпсоїда. Обертаємо еліпсоїд у циліндрі із кроком 6° . При кожній зупинці циліндр торкається еліпсоїда по осьовому меридіану даної зони. Уся поверхня зони проектує на поверхню циліндра нормаллями до еліпсоїда так, що зображення малої ділянки на циліндрі подібно відповідному до ділянки на еліпсоїді. Така проекція називається конформною або рівнокутною.

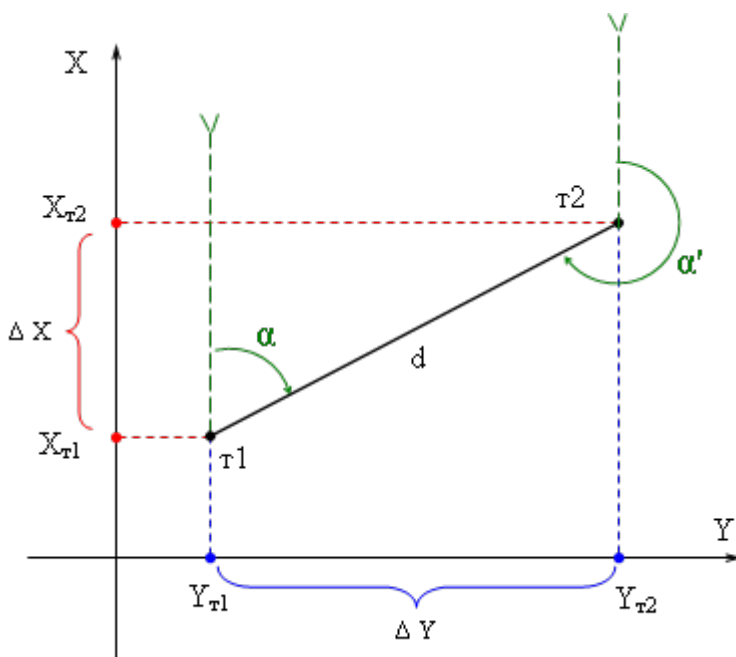
Поверхня циліндра розрізається і розгортається на площині; при цьому осьові меридіани кожної зони і екватор зображуються у вигляді двох взаємно перпендикулярні прямі лінії. У точку їх перетинання поміщають початок прямокутних координат зони. За вісь абсцис OX приймають осьовий меридіан зони (позитивний напрямок на північ), за вісь ординат OY приймають екватор (позитивний напрямок на схід). Для виключення негативних значень ординат прийняте, що на початку координат значення Y рівно 500 км.

Все, вистачить теорії, у нашій країні прийнята до використання система плоских прямокутних координат Гауса і відповідно ми теж будемо її використовувати.

Геодезичні задачі:

1. Пряма геодезична задача - це обчислення координат деякої точки, якщо відомі координати іншої точки (X, Y), дирекційний кут (α) і відстань (L) з'єднуючі ці точки.

Малюнок 13. Зміст геодезичних задач.



Припустимо, потрібно обчислити координати t_2 . При цьому відомі координати t_1 , дирекційний кут (α) і відстань (L) (мал. 13).

З малюнка видно що:

$$X_{T2} = X_{T1} + \Delta X$$

$$Y_{T2} = Y_{T1} + \Delta Y$$

де ΔX і ΔY - збільшення координат

$$\Delta X = \cos \alpha \times d$$

$$\Delta Y = \sin \alpha \times d$$

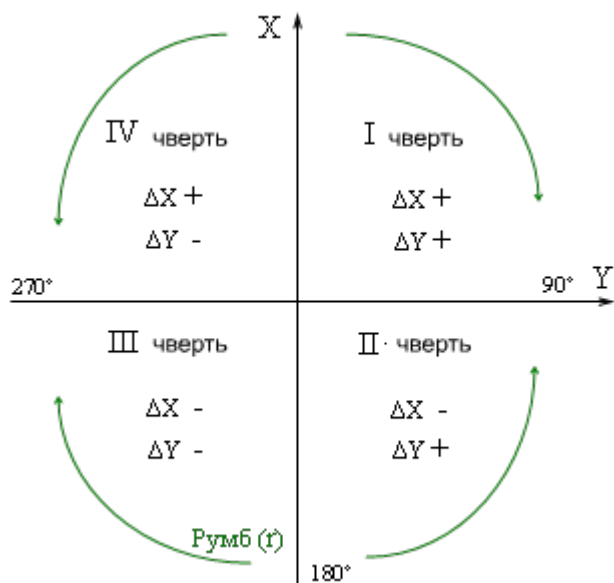
де:

α - дирекційний кут t_1 - t_2 у градусах.

d - горизонтальне прокладання лінії t_1 - t_2

2. Зворотна геодезична задача - це обчислення дирекційного кута (α) і відстані (d) що з'єднує дві точки, якщо відомі координати цих точок X, Y.

Малюнок 14. Зв'язок дирекційного кута (α) і румба (r).



I чверть: $\alpha = r$

II чверть: $\alpha = 180^\circ - r$

III чверть: $\alpha = 180^\circ + r$

IV чверть: $\alpha = 360^\circ - r$

Припустимо потрібно обчислити дирекційний кут (α') і відстані (d) між точками t_2 і t_1 (рис 13).

Обчислюємо збільшення координат:

$$\Delta X = X_{t1} - X_{t2}$$

$$\Delta Y = Y_{t1} - Y_{t2}$$

Знаки збільшення координат важливі для подальших обчислень. У даному прикладі ΔX і ΔY мають негативні значення, а це значить, що напрямок лінії t_2 - t_1 перебуває в третин чверті (мал. 14).

Обчислюємо румб по формулі:

$$r = \arctg(\Delta X/\Delta Y)$$

Знаходимо дирекційний кут. Визначаємо номер чверті по знаках збільшень координат, обчислюємо дирекційний кут по формулах зв'язку відповідно до номера чверті. У даному прикладі кут перебуває в III чверті, тому:

$$\alpha = 180^\circ + r$$

Обчислюємо відстань між точками по формулі:

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

Контроль правильності обчислень є виконання рівності:

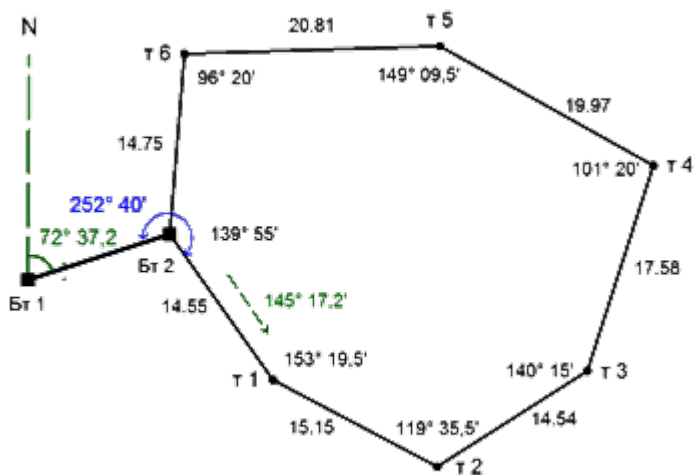
$$\Delta x \sec \alpha = \Delta y \operatorname{cosec} \alpha = \Delta X / \cos \alpha = \Delta Y / \sin \alpha = d$$

Обробка результатів вимірів, обчислення координат точок.

Як би ми старанно не вимірювали кути і відстані, через неминучі погрішності вимірів їх отримане значення в кожному разі буде відрізнятися від фактичного. Різниця між фактичною і відміреною величиною називається нев'язка. У лінійно-кутових ходах існують кутова нев'язка та лінійна нев'язка в збільшеннях координат і від них потрібно позбавитися, тобто виконати вирівнювання.

Обчислення координат точок замкнутого лінійно-кутового ходу.

Отже, спочатку складаємо схематичне креслення нашого ходу. У вершин ходу випикуємо номери пікетів і середні значення обмірюваних горизонтальних кутів (β), а біля кожної сторони горизонтальне прокладання (d). Також на схему випикуємо координати вихідних точок і обчислений дирекційний кут на примикаючу до базової сторони сторону ходу, після чого заповнюємо відомість обчислення координат (Таблиця 3).



Обчислення координат починається з вирівнювання кутів. Для цього порівнюємо суму обмірюваних кутів з теоретичною сумою і визначаємо кутову нев'язку ($f\beta$). Що таке теоретична сума?

У будь-якому багатокутнику сума внутрішніх кутів рівна:

$$\Sigma\beta_{\text{теор}} = 180^\circ \times (n-2)$$

де n - кількість кутів

Нев'язка ($f\beta$), отримана по формулі

$$f\beta = \Sigma\beta_{\text{вим}} - \Sigma\beta_{\text{теор}}$$

ділимо пропорційно (при чому, чим довше лінія, тем менше нев'язка) на кількість кутів і вводимо в кожний кут із протилежним знаком. Обчислюємо виправлені кути.

Таблиця 3. Відомість обчислення координат замкнутого лінійно-кутового ходу

№ пк	Кут β вимір	$f\beta$	Кут β випр	Дир.кут α	d	ΔX отр.	f ΔX	ΔY отр.	f ΔY	X	Y
Бт2										923,89	550,25
				145°17,2'	14,54	-11,95		-11,95			
Т1	153°19,5'	+0,8'	153°20,3'							911,94	558,53
				118°37,5'	15,16	-7,26		-7,26			
Т2	119°35,5'	+0,8'	119°36,3'							904,68	571,84
				58°13,8'	14,55	+7,66	-0,01	+7,65	-0,01		
Т3	140°15'	+0,8'	140°15,8'							912,33	584,20
				18°29,6'	17,58	+16,67		+16,67			
Т4	101°20'	+0,8'	101°20,8'							929,00	589,78
				299°50,4	19,99	+9,94		+9,94			
Т5	149°09,5'	+0,8'	149°10,3'							938,94	572,44
				269°00,7'	20,82	-0,36		-0,36			
Т6	96°20'	+0,8'	96°20,8'							938,58	551,63
				185°21,5	14,75	-14,68	-0,01	-14,69			
Бп2	139°55'	+0,7'	139°55,7'							923,89	550,25
				145°17,2'							
f $\beta_{\text{доп}}$ 37'	$\Sigma\beta$ вим 899°54,5'	f β -5,5'	$\Sigma\beta$ теор 900°00'		P 117,39	$\Sigma\Delta X$ -34,25 +34,27	f ΔX +0,02	$\Sigma\Delta Y$ -39,53 +39,54	f ΔY +0,01	f від 1:5800 f абс 0,02	

Приступаємо до обчислення дирекційних кутів. Дирекційний кут обчислюється послідовно для кожної лінії по формулі:

Для лівих по ходу кутів

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta_{\text{вим}} - 180^\circ$$

Для правих по ходу кутів

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \beta_{\text{вим}} + 180^\circ$$

Якщо сума $\alpha_n + \beta_{\text{вим}} < 180^\circ$ то її збільшують на 360, не допускаючи, щоб $\alpha_n > 360^\circ$

Обчисливши дирекційні кути кожної лінії і знаючи їх горизонтальне прокладання обчислюємо збільшення координат ΔX і ΔY (згадаємо пряму геодезичну задачу).

$$\Delta X = \cos \alpha \times d; \Delta Y = \sin \alpha \times d$$

Визначаємо лінійну нев'язку в збільшення координат. У замкнених полігонах сума збільшення координат повинна рівнятися нулю. Якщо сума збільшення координат відрізняється від нуля, то це і буде нев'язка $f\Delta x$ і $f\Delta y$. Цю нев'язку ділимо пропорційно (чим довше лінія, тим більше нев'язка) на кількість ліній і вводимо в кожне збільшення із протилежним знаком.

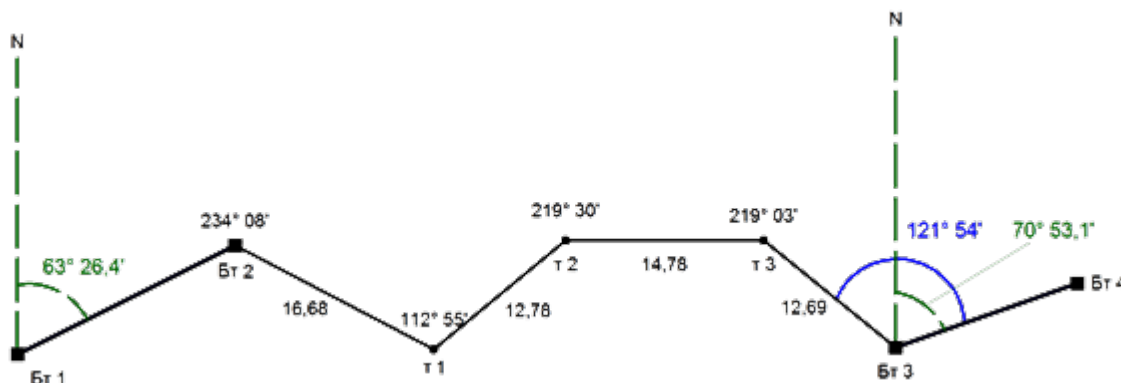
Одержуємо виправлені збільшення координат, після чого обчислюємо координати точок по формулах:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta X_{\text{вип}}$$

$$Y_{n+1} = Y_n + \Delta Y_{\text{вип}}$$

Обчислення координат точок розімкнутого лінійно-кутового ходу.

Координати точок розімкнутого лінійно-кутового ходу обчислюються по тому ж принципу, що і замкнутого, однак деяка відмінність все-таки є.



Таблиця 4. Відомість обчислення координат розімкнутого лінійно-кутового ходу

№ пк	Кут β вимір	$f\beta$	Кут β випр	Дир. кут α	d	ΔX отр	$f\Delta X$	ΔY отр	$f\Delta Y$	X	Y
Бт1										915,77	534,01
				63°26,4'							
Бт2	234°08'	-0,7'	234°07,3'							923,89	550,25
				117°33,7'	16,68	-7,72	+0,01	-7,71	+0,01		
т1	112°55'	-0,6'	112°54,4'							916,18	565,05
				50°28,1'	12,78	+8,13	+0,01	+8,14			
т2	219°30'	-0,7'	219°29,3'							924,32	574,91
				89°57,4'	14,78	+0,01	+0,01	+0,02			
т3	219°03'	-0,6'	219°02,4'							924,34	589,69
				129°59,8'	12,69	-8,16	+0,01	-8,15	+0,01		
Бт3	121°54'	-0,7'	121°53,3'							916,19	599,42
				70°53,1'							
Бт4										920,90	613,02
$f\beta_{\text{доп}}$ 31'	$\Sigma\beta$ вим 907°30'	$f\beta$ +3,3'	$\Sigma\beta$ теор 907°26,7'	P 56,93	$\Sigma\Delta X$ пр -7,74	$f\Delta X$ -0,04	ΔX теор -7,70	$\Sigma\Delta Y$ пр >+49,15	$f\Delta Y$ -0,02	ΔY теор +49,17	f відн 1:1400 f абс 0,04

Також як і при вирівнюванні замкнутого ходу робимо схематичне креслення, на яке виписуємо номери пікетів, середні значення обмірюваних горизонтальних кутів, горизонтальне прокладання і координати вихідних точок, після чого заповнюємо відомість обчислення координат (Таблиця 4).

По координатах пар базових точок (Бт1, Бт2 і Бт3, Бт4) обчислюємо початковий і кінцевий дирекційний кут (згадаємо зворотне геодезичне завдання).

У нашій прикладі $\alpha_{\text{поч}} = 63^\circ 26,4'$, $\alpha_{\text{кін}} = 70^\circ 53,1'$.

Знаходимо суму виміряних кутів:

$$\Sigma\beta_{\text{вим}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n$$

Знаходимо суму теоретичних кутів по одній з формул:

Для лівих по ходу кутів

$$\Sigma\beta_{\text{теор}} = (\alpha_{\text{кін}} - \alpha_{\text{поч}}) + 180^\circ n$$

Для правих по ходу кутів

$$\Sigma\beta_{\text{теор}} = (\alpha_{\text{поч}} - \alpha_{\text{кін}}) + 180^\circ n$$

де n - кількість кутів

$\alpha_{\text{поч}}$ - дирекційний кут початкового напрямку

$\alpha_{\text{кін}}$ - дирекційний кут кінцевого напрямку

По вже відомим формулам визначаємо і урахуємо кутову нев'язку, обчислюємо дирекційні кути і збільшення координат.

Далі знаходимо теоретичну суму збільшень координат

$$\Sigma\Delta X_{\text{теор}} = \Delta X_{\text{кін}} - \Delta X_{\text{поч}}$$

$$\Sigma\Delta Y_{\text{теор}} = \Delta Y_{\text{кін}} - \Delta Y_{\text{поч}}$$

Визначаємо лінійну нев'язку в збільшення координат:

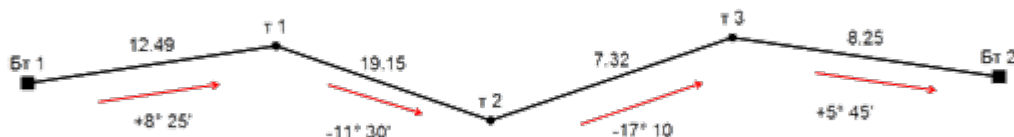
$$f\Delta x = \Sigma\Delta X_{\text{пр}} - \Sigma\Delta X_{\text{теор}}$$

$$f\Delta y = \Sigma\Delta Y_{\text{пр}} - \Sigma\Delta Y_{\text{теор}}$$

Після чого вже знайомим способом, розкидаємо нев'язку, одержуємо виправлені збільшення координат і обчислюємо координати точок.

Обчислення відміток точок ходу.

Принцип вирівнювання висотного ходу мало чому відрізняється від вирівнювання лінійно-кутового ходу. Складаємо схему ходу, куди виписуємо дані з журналу, усереднений кут нахилу (середнє арифметичне значення прямого і зворотного вимірювання) ($\pm\gamma$) і горизонтальне прокладання (d). Заповнюємо відомість обчислення оцінок точок ходу, причому, якщо перевищення $\pm h$ обчислене заздалегідь (Таб. 2), стовпчика 2 і 3 відомості обчислення оцінок точок ходу (Таб. 4) не заповнюються.



Обчислюємо перевищення:

$$\pm h = \text{tg} \gamma \times d$$

Визначаємо нев'язку f_h по формулі:

$$f_h = \Sigma h_{\text{пр}} - h_{\text{теор}}$$

де:

$$\Sigma h_{\text{пр}} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n$$

$$h_{\text{теор}} = H_{\text{кін}} - H_{\text{поч}}$$

Після чого розкидаємо нев'язку в кожен лінійний сегмент із протилежним знаком, одержуємо виправлені перевищення і обчислюємо відмітки точок по формулі:

$$H_{n+1} = H_n + \pm h_{\text{вип}}$$

Таблиця 5. Відомість обчислення відміток точок ходу

№ пк	кут нахилу ±γ	Гор проладання d	Перевищення ±h	Поправка ±fh	Перевищення випр ±h випр	Відмітка H (м)
Бт1						257,84
	+8° 25'	12.49	+1,85	-0.01	+1.84	
т1						259.68
	-11° 30'	19,15	-3,89	-0.01	-3.90	
т2						255.78
	-17° 10'	7,32	-2,26	-0.01	-2.27	
т3						253.51
	+5° 45'	8,25	+0,83	-0.01	+0.82	
Бт2						254.33
	f h _{доп} 4.5	Σd 47.21	Σh _{гр} -3.47	f h +0.04	Σh теор -3.51	

Оцінка точності.

Оцінка точності дає уяву про якість вимірів. Так про якість кутових вимірів можна судити, визначивши гранично допустиму нев'язку і зрівнявши її з отриманої. Для наших вимірів при використанні бусолі БГ-1, гранично допустиму кутову нев'язку визначаємо по формулі:

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 10' \times \sqrt{2} \times \sqrt{n}$$

де n - кількість кутів

А про якість лінійних вимірів говорить абсолютна нев'язка

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f\Delta X^2 + f\Delta Y^2}$$

Однак, абсолютна нев'язка не повністю характеризує якість лінійних вимірів, значення цієї нев'язки необхідно віднести до загальної довжини ходу (P). Таке відношення називають відносною нев'язкою

$$f_{\text{відн}} = f_{\text{абс}}/P$$

де P - довжина ходу в метрах.

Допустимі значення відносних нев'язок установлюються на підставі практичних вимірів для різних умов. У нашій випадку допустиме значення відносної нев'язки задамо величиною 1:2000, тобто на сумарну довжину ходу в 100м погрішність вимірювання відстаней не повинна перевищувати 5 см.

Допустиму нев'язку в перевищення визначаємо як:

$$f_{h_{\text{доп}}} = \pm 200 \text{ мм} \sqrt{P}$$

де P - довжина ходу в кілометрах.

Якщо нев'язка, отримана в процесі вирівнювання гірше гранично допустимих, виміри бракуються.

От і все. Створення знімального обґрунтування успішно завершено, кістяк печери у вигляді системи вирівняних лінійно-кутових ходів створений. Але може бути когось злякала кількість формул і розрахунків. Не варто лякатися, у наш час в Інтернеті можна знайти величезну кількість комп'ютерних програм (платних і безкоштовних) завдяки яким усі ці вирівнювання виконуються з легкістю. Тільки не помиліться у введенні вихідних донних.

2.3. Топографічна зйомка печери.

Топографічна зйомка печери - це визначення положення характерних точок печери.

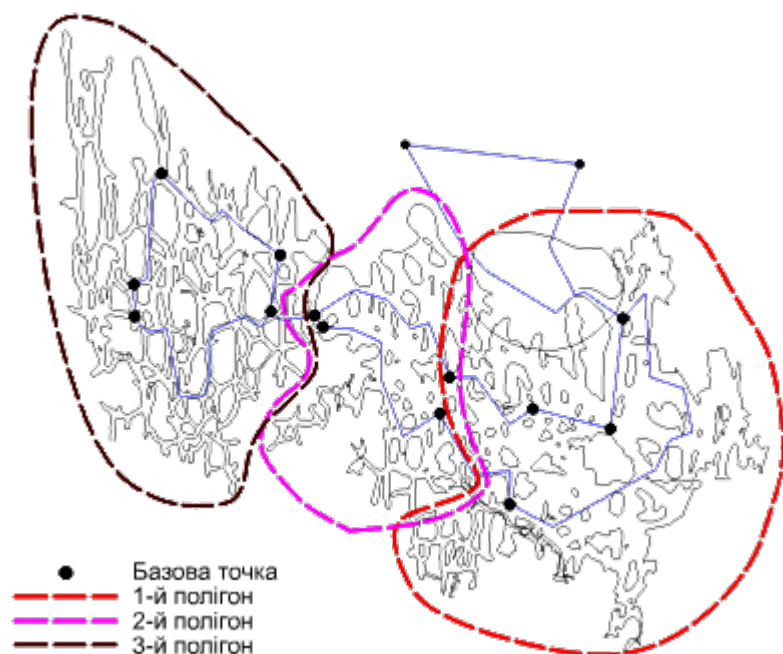
Топографічна зйомка печери складається із двох частин:

- I. Створення знімального обґрунтування (знімальна геодезична мережа).
- II. Зйомка контурів і рельєфу печери.

Проте, створення знімального обґрунтування і зйомку контурів і рельєфу печери не слід розділяти на етапи, ці види робіт можна проводити в комплексі. Мало того, топографічну зйомку можна починати, не чекаючи результатів створення і обробки опорної геодезичної мережі, досить мати закріплені в печері базові точки.

Зйомка печери проводиться по окремих, запроектованих заздалегідь знімальним полігонам із точок опорної геодезичної мережі (базових точок) і точок знімального обґрунтування, причому полігони повинні мати невелике взаємне перекриття. Кількість базових точок у полігоні повинне бути не менш чотирьох. Не слід проектувати величезні знімальні полігони, невеликі ділянки і знімати веселіше і помилок менше.

Малюнок 15. Знімальні полігони в печері Мушкарова яма

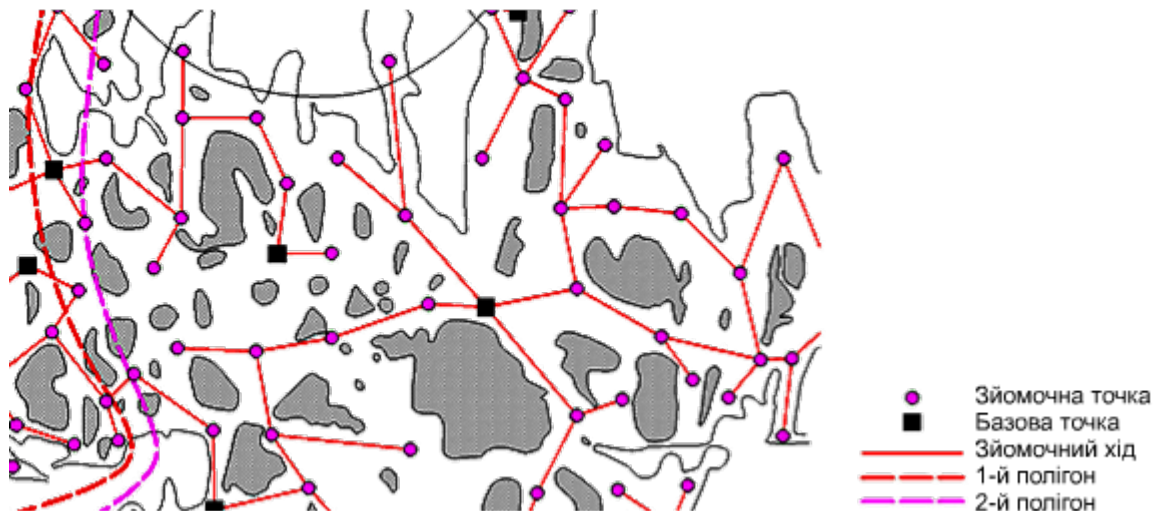


I. Створення знімального обґрунтування (знімальна геодезична мережа).

Знімальне обґрунтування створюється за методикою, описаної в п. 2.2.2, з метою згущення опорної геодезичної мережі до щільності, що забезпечує виконання зйомки контурів і рельєфу печери.

Знімальне обґрунтування складається із системи замкнених, розімкнених і висячих ходів, які опираються на базові точки, причому окремий висячий хід повинен мати не більш трьох кутів повороту при сумарній довжині не більш 50м.

Малюнок 16. Фрагмент знімального обґрунтування в печері Мушкарова яма

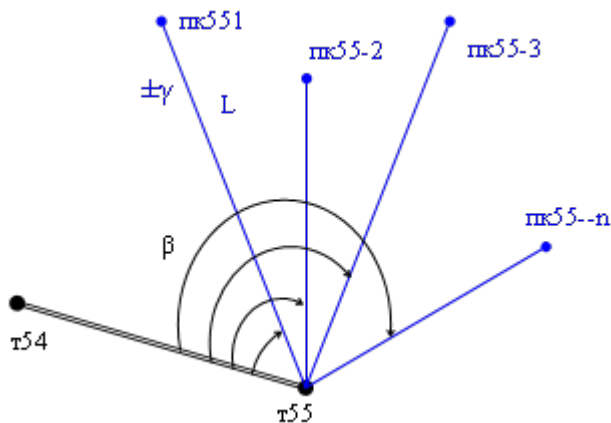


II. Зйомка печери.

Полярний спосіб зйомки

Зйомка печери виконується із точок знімального обґрунтування і точок опорної мережі полярним способом. Для виконання зйомки використовується бусоль або кутомір, екліметр і лазерний далекомір або, що заміняє їх DistoX. Замість класичного пікетажного журналу рекомендується використовувати КПК із установленою на ньому програмою PocketToro. Кутові і лінійні виміри виконуються однократно.

Малюнок 17. Принцип полярного способу зйомки



Полярний спосіб зйомки - це реалізація полярної системи координат (рис 17). Інструмент встановлюють на точці знімального обґрунтування t_{55} , приймаючи його за початок (полюс) полярної системи координат. Полярна вісь сполучається з напрямком на іншу точку знімального обґрунтування t_{54} , яка приймається за нуль.

Потім вимірюють горизонтальні кути β , утворені напрямком t_{55} - t_{54} і напрямками на пікетні точки pk_{55-1} , pk_{55-2} , pk_{55-3} ... pk_{55-n} , відстані L і кути нахилу $\pm\gamma$ від точки t_{55} до пікетних точок pk_{55-1} , pk_{55-2} , pk_{55-3} ... pk_{55-n}

Чому використовувати саме полярний спосіб?

Справа в тому, що спосіб визначення конфігурації печери, використовуючи вимірювання лівої і правої ширини галереї на пікеті грубий і неточний. При зйомці полярним способом проводиться більша кількість вимірів і це дає можливість більш точно визначити форму і розмір печери.

Зйомці підлягають:

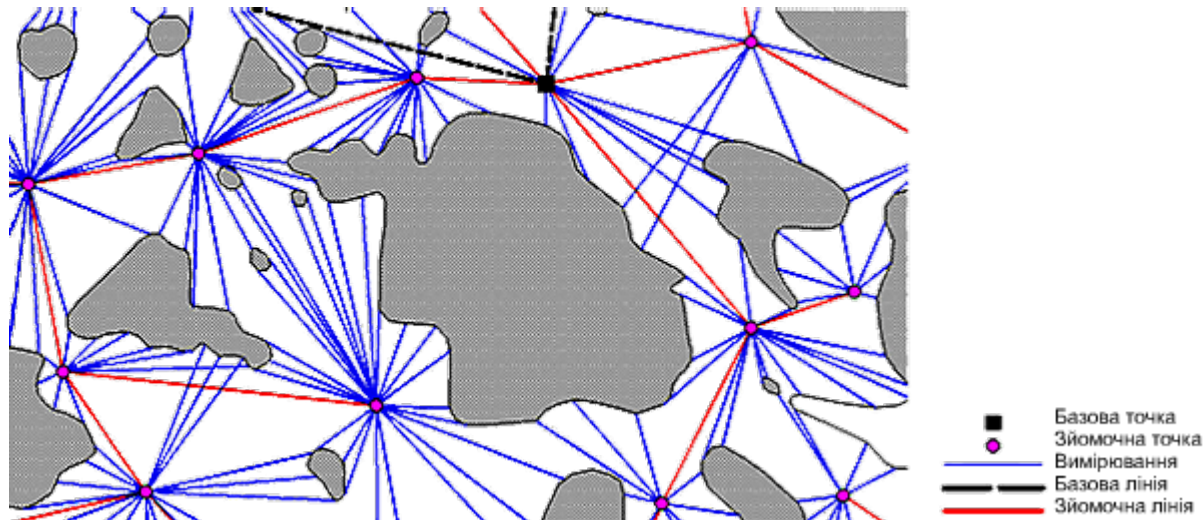
Контур печери - це стіни галерей, зали, тупики і стеля. При зйомці галерей складного перетину пікетні точки визначають характерні місця галереї на рівні грудей зйомника. Зйомка стелі

виконується не тільки над інструментом, але і по інших місцях печери тригонометричним нівелюванням.

Об'єкти печери - це озера, каміни, брили що лежать окремо, завали, висипки інше. При зйомці, об'єкти печери слід оконтурювати пікетними точками. Окремо вимірюється висота камінів, навалів каміння і глибина озер, в озерах визначається точка урізу води на поточну дату.

Рельєф печери - висотна зйомка нерівностей «підлоги» печери.

Малюнок 17. Зйомка печери полярним способом (фрагмент печери Мушкарова яма).



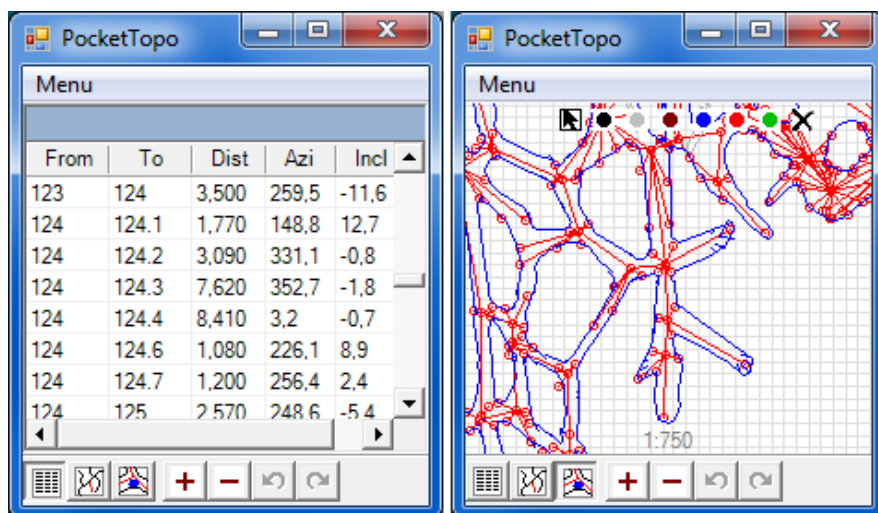
Топографічна зйомка з використанням DistoX

DistoX - це прилад, створений на базі лазерного далекоміра Leica Disto A3 об'єднуючий у собі компас, екліметр, далекомір, Bluetooth. У комплекті із КПК і встановленої на ньому програмою PocketTopo значно спрощується і прискорюється весь процес топо зйомки. У результаті ми одержуємо практично готовий топоплан.

Топо зйомку виконує бригада із трьох людей: інженер з DistoX, оператор із КПК і робітник з візирною маркою і комплектом пікетів. Створення знімального об'ґрунтування і зйомка контурів, об'єктів і рельєфу проводиться комплексно.

Роботи починаються з калібрування приладу. Калібрування необхідне для виключення або значного зниження девіації. Усього при калібруванні проводиться 56 вимірів у різних площинах, докладніше читайте тут: <http://paperless.bheeb.ch/>

Отримавши гарний результат калібрування приладу, інженер і оператор залишаються на першій знімальній точці, робітник іде встановлювати наступну знімальну точку. Поки робітник вибирає місце для точки, інженер виконує зйомку печери полярним способом.



Зйомку контурів і об'єктів печери можна проводити «з руки» уперши задник приладу в кілочок пікету (при невеликих відстанях помилка вимірів буде мінімальною, а методика зйомки виключає нагромадження помилки). Вимірювання при створенні знімального об'ґрунтування слід виконувати зі штатива на візирну марку двічі.

Інформація про виміри по каналу зв'язку Bluetooth передається автоматично в реальному часі в КПК. Оператор, використовуючи

отриману інформацію, з'єднуючи відповідні точки, малює абрис печери і здійснює контроль зйомки.

Робітник, закріпивши другу знімальну точку, ставить на неї візирну марку, на яку інженер проводить виміри. Виконавши всі виміри на першій знімальній точці, інженер і оператор переходять на другу знімальну точку, робітник іде ставити наступну і т.д. до завершення зйомки.

Топографічна зйомка іншими інструментами.

DistoX безумовно гарний прилад, і працювати з ним зручно. Але що робити, якщо його немає. Не біда, для виконання зйомки підійде бусоль або кутомір, екліметр і лазерний далекомір. Головне не порушувати методику зйомки. От тільки робітник буде більше бігати та повзати.

А про пікетажний журнал потрібно все-таки забути. Навіщо він потрібний, якщо є КПК із PocketToro, адже ця програма дозволяє введення даних вручну. Ну а якщо ви все-таки прагнете писати олівцем на папері, використовуйте такий журнал:

Таблиця 6.

№ пк	Кут β	Довжина L	Кут нахилу γ	Висота нав V	Гор прокл d	Перевищення h	Відмітка Н	Опис
Станція т 55. Орієнтування т 54. $i=0,98$. Н т 55=257,75								
т 54	0° 00'	11,54	+17° 15'					
55-1	52° 25'	6,32	-8° 55'		$\cos\gamma \times L$	$\sin\gamma \times L$	Нпк + h	стіна
т 56	79° 45'	15,58	-5° 40'					
Станція т 56. Орієнтування т 55. $i=1,05$. Нт 56=256,21								
т 55	0° 00'	15,58	+5° 40'					
56-1	8° 20'	9,34	+87° 25'					стеля
56-2	29° 35'	12,17	+5° 10'	0.85				каміння

2.4 Камеральна обробка результатів зйомки, корегування топоплану.

Нерозумно користуватися транспортиром і міліметрівкою для створення плану печери, коли на столі стоїть комп'ютер. Залишається тільки вибрати програму. Яку? Залежить від смаку, та поставленого завдання. У будь-якому випадку ця програма повинна вирівнювати геодезичні мережі, обробляти дані топографічної зйомки, забезпечувати можливість використання растрової підкладки, мати можливість переходу з однієї системи координат в іншу, мати можливість обміну інформацією з іншими системами ну і звичайно якісно виводити результат на печать.

На щастя в наше століття інформатизації існує ціла лінійка настільних ГІС які з легкістю справляються з перерахованими вище завданнями. Так що вибір програми ця справа смаку і засобів. Наприклад, я використовую Mapinfo.

Mapinfo - це повнофункціональна ГІС, відносно недорога, легка у вивченні, проста в обігу. Для розробки власних інструментів має вбудована мова програмування Mapbasic. А ще в Інтернеті є купа додаткового інструментарію який дозволяє вирішувати практично будь-які завдання.

Ну добре, програму вибрали, приступаємо до камеральної обробки.

Для початку забудемо про масштаб, не зовсім забудемо, на час. Про масштаб ми згадаємо тоді коли будемо друкувати повністю готовий топоплан печери. Тобто зображення на екрані комп'ютера буде масштабованим, але оперувати ми будемо з дійсними величинами, не застосовуючи до них масштабний коефіцієнт, а кінцевий продукт (топоплан) буде полімасштабним. Що складно? Нічого, звикайте.

Отже, виконавши вирівнювання лінійно-кутових кодів і отримавши координати базових точок зберігаємо їх на окремому шарі у вигляді точкових об'єктів. Слід урахувати, що практично у всіх настільних ГІС, у тому числі і у Mapinfo використовується Декартова система координат, а не застосовувана в геодезії система координат Гауса. Різниця між ними - це поворот осей на 90, так що міняємо місцями значення X і Y і все стає на свої місця.

Експортуємо дані топографічної зйомки з PocketToro у файл *.dxf, на жаль, експорт, у якийсь інший векторний формат в поточній версії PocketToro v1.34 не передбачений.

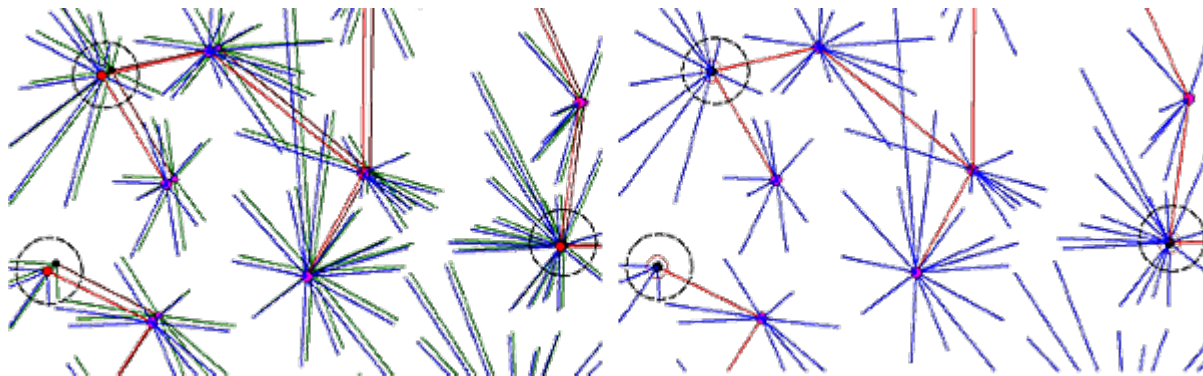
Формат dxf (drawing exchange format) - це відкритий формат файлів для обміну двовимірною графічною інформацією. Був створений фірмою Autodesk для системи AutoCAD. Підтримується практично всіма ГІС і CAD системами.

Імпортуємо файл *.dxf у нашу ГІС і зберігаємо в окремому шарі. Що ми отримали? Ми отримали перший шар з базовими точками вирівняного лінійно-кутового ходу і другий шар з даними топографічної зйомки, на яким теж є базові точки лінійно-кутового ходу. Ці точки ми будемо використовувати в якості контрольних точок для перетворень. Природно, що на шарі зйомки контрольні точки не будуть збігатися з такими ж точками на шарі лінійно-кутового ходу, тому що їхні координати не були задані заздалегідь і знімальний хід не був зрівняний, а отже вся зйомка буде спотворена.

Для того щоб виправити цей недолік, використаємо афінне перетворення і як би «натягаємо» шар зйомки на шар базового лінійно-кутового ходу по кращих комбінаціях із контрольних точок.

Малюнок 18. До перетворення

Малюнок 19. Після перетворення

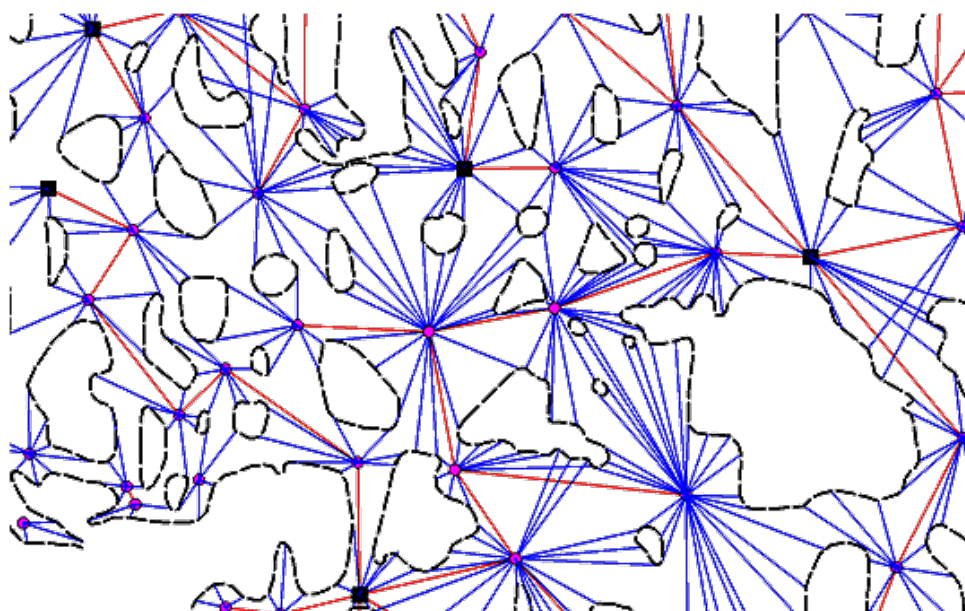


Аналогічні дії виконуємо з усіма знімальними полігонами. Контролем служить взаємне перекриття зйомки на краях полігонів. Після перетворення різниця між пікетами в області перекриття не повинна перевищувати 30 см (0,3 мм у масштабі плану 1:1000). Це простий спосіб вирівнювання.

Більш складний спосіб полягає в окремому вирівнюванні ходів знімального об'єднання способом, описаним у п. V, або використовуючи більш строгі способи вирівнювання системи ходів [3]. Після вирівнювання з кожної точки знімального об'єднання розкидаються контурні пікети [1]. Цей спосіб обробки використовується тими, хто веде паперовий журнал і не вірить в афінне перетворення. У кожному разі незалежно від способу обробки кінцевий результат буде практично однаковий.

Тепер приступаємо до окреслення контурів (стін) печери. Створюємо новий шар, на якому, використовуючи абрис (електронний або паперовий) з'єднуючи полілініями відповідні точки, створюємо контур печери.

Малюнок 20. Побудова контурів печери



Далі, створюємо новий шар, на якому аналогічним образом малюємо об'єкти печери, і елементи рельєфу які відображаються в масштабі карти (озера, каміни, уступи, навали каменів, висипки і т.п.) у вигляді полігонів та (або) лінійних об'єктів.

Об'єкти, які не відображаються в масштабі карти (сталактити, сталагміти, кристали і т.п.), відзначаємо на іншому шарі у вигляді точкових об'єктів.

У таблиці цих шарів записуємо атрибути об'єктів.

Таблиця 7. Приклад запису атрибутів об'єктів.

id (ціле)	id_style (ціле)	name (текст 25)	height_object (числове)	deptd_object (числове)	H (числове)	date
18	12	камін	8,5			02.05.2010
28	9	озеро		-4,7	257,18	02.05.2010
36	42	капель				05.05.2009
41	48	сталагміт	1,2			07.05.2010
28	9	озеро		-2,4	257,19	24.08.2010
54	54	точка зв'язку				08.01.2009

* Запропонований у таблиці список атрибутів об'єктів не остаточний, його можна і потрібно доповнювати. У якості ідентифікатора об'єкта (id) служить номер об'єкта в таблиці умовних знаків.

Отже, у результаті вищеописаних дій ми одержали деяку кількість шарів з елементами печери.

Перелік шарів і їх мінімальна структура в порядку відображення:

Шар 5. Позамасштабні елементи (сталактити, сталагміти, кристали, точки зв'язку і т.п.).

Тип об'єкта		Точка, полілінія
id	ціле	номер об'єкта в таблиці умовних знаків
id_style	ціле	атрибут загальний для групи об'єктів визначаючий їх вигляд
name	текст 25	назва об'єкта
height_object	числове	відносна висота об'єкта (м)
deptd_object	числове	відносна глибина об'єкта (м)
H	числове	абсолютна висота об'єкта (м)
date	дата	дата проведення вимірювань

Шар 4. Масштабовані елементи (озера, каміни, уступи, брили, висипки і т.п.)

Тип об'єкта		Полігон, полілінія
id	ціле	номер об'єкта в таблиці умовних знаків
id_style	ціле	атрибут загальний для групи об'єктів визначаючий їх вигляд
name	текст 25	назва об'єкта
height_object	числове	відносна висота об'єкта (м)
deptd_object	числове	відносна глибина об'єкта (м)
H	числове	абсолютна висота об'єкта (м)
date	дата	дата проведення вимірювань

Шар 3. Контурні елементи (стіни галерей, залів, потовк)

Тип об'єкта		Полігон, складний полігон
id	ціле	номер об'єкта в таблиці умовних знаків
id_style	ціле	атрибут загальний для групи об'єктів визначаючий їх вигляд
name	текст 55	назва об'єкта
H	числове	абсолютна висота об'єкта (м)
date	дата	дата проведення вимірювань

Шар 2. Знімальне обґрунтування, пікети

Тип об'єкта		Точка, полілінія
id	ціле	номер об'єкта в таблиці умовних знаків
id_style	ціле	атрибут загальний для групи об'єктів визначаючий їх вигляд
point_number	текст 25	№ точки чи назва
line_name	текст 25	№ хода чи назва
X	числове	координата X (м)
Y	числове	координата Y (м)
H	числове	абсолютна висота (Балтійська система висот) (м)
f	текст 10	досягнута точність (відносна)
chief_name	текст 55	ПІБ керівника робіт
date	дата	дата проведення вимірювань

Шар 1. Опорна геодезична мережа (точки опорної геодезичної мережі)

Тип об'єкта		Точка, полілінія
id	ціле	номер об'єкта в таблиці умовних знаків
id_style	ціле	атрибут загальний для групи об'єктів визначаючий їх вигляд
point_number	текст 25	№ точки чи назва
line_name	текст 25	№ хода чи назва
X	числове	координата X (м)
Y	числове	координата Y (м)
CS	текст 25	система координат
H	числове	абсолютна висота (Балтійська система висот) (м)
f	текст 10	досягнута точність (відносна)
chief_name	текст 55	ПІБ керівника робіт
date	Дата	дата проведення вимірювань

Дивлячись на наведені вище таблиці, може виникнути питання: Для чого все це, якісь шари, атрибути та інше. Ми зняли печеру, намалювали її контур, навантажили умовними знаками. Досить. Ні, не досить. Викладене вище це спроба систематизації і перший крок до створення повнофункціональної інформаційної системи. Звичайно, можна піти по іншому шляху, наплодити близько сотні тематичних шарів, у які помістити відповідні об'єкти і у міру потреби включати потрібні або відключати непотрібні шари. Або помісти всі об'єкти у один шар і готово...

Стоп. Схоже, ми почали відхилятися від теми. Зараз ми говоримо про топографічну зйомку печер, а не дискутуємо про принципи створення ГІС. Про ГІС поговоримо іншим разом.

Але, так чи інакше, топоплан печери майже готовий.

Корегування топоплана.

Як би ми не намагалися, але в кожному разі щось десь пропустимо. Це погано, але поправне. Отже, беремо роздрукований топоплан нашого знімального району в масштабі, що читається, беремо лазерний далекомір і йдемо в печеру виправляти помилки, якщо вони є. Проходячи по печері, звіряємо топоплан з натурою, визначаємо розбіжності і виправляємо їх на місці. Допоможе нам у цьому далекомір, пропущені об'єкти можна дозняти способом лінійних промірів від твердих контурів. Після повернення на базу вносимо зміни у відповідні шари.

2.5. Визначення розмірів печери

Як ми знаємо, кожна печера має морфометричні показники.

Це довжина печери, протяжність, глибина, амплітуда, середня ширина, середня висота, площа, об'єм, коефіцієнт Корбеля, коефіцієнт довжини, коефіцієнт вертикальності, коефіцієнт звивистості, коефіцієнт площинної закарстованості і питомий об'єм.

Довжина печери.

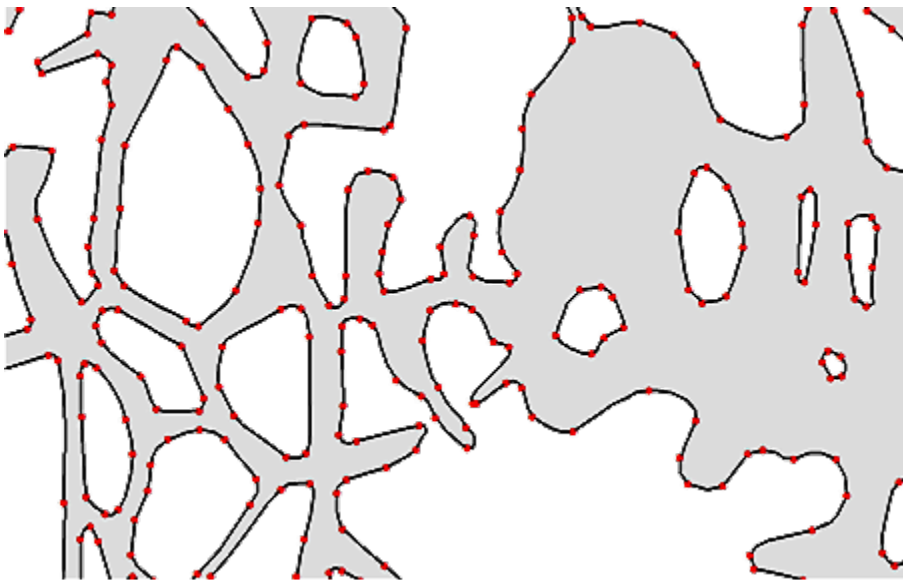
Ми вже знаємо, спосіб визначення довжини печери підсумовуванням відстаней з пікетажного журналу виявився неспроможним. Водити курвіметром по готовому топоплану теж не слід. Так що робити, як визначити довжину печери. Міркуючи над цим питанням, я згадав про полігони Вороного. До речі, модуль побудови полігонів Вороного є в будь-якій ГІС.

Полігони Вороного - це області, утворені на заданій множині точок таким чином, що відстань від будь-якої точки області до даної точки менше, чим для будь-якої іншої точки множини. Границі полігонів Вороного є відрізками перпендикулярів, відновлених до середин сторін трикутників у триангуляції Делоне, яка може бути побудована щодо тієї ж множини.

А що може вийти... Спробував, вийшло!

Розглянемо, як вирахувати довжину печери цим способом.

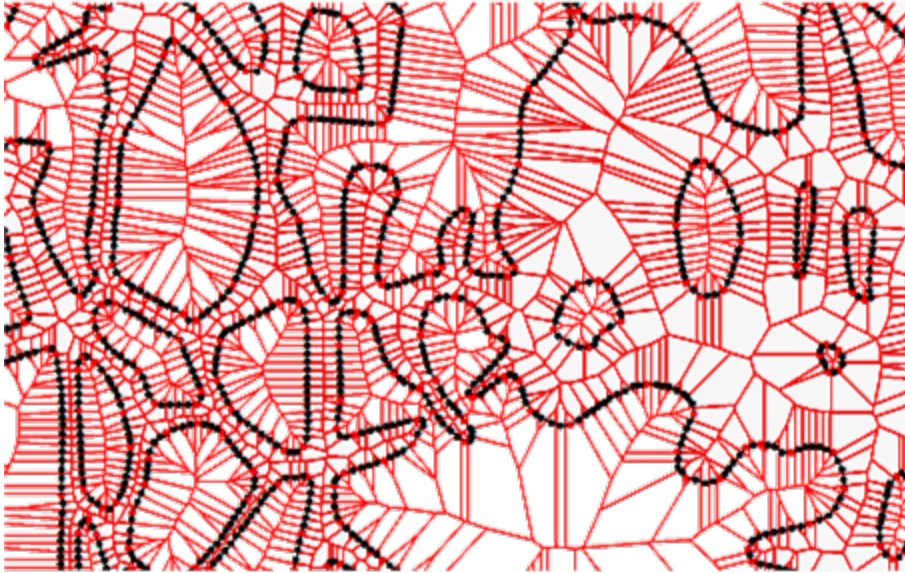
На малюнку показаний фрагмент контуру печери з пікетними точками. Ці точки є вихідними для побудови полігонів Вороного, однак їх кількості замало. Для отримання гарного результату відстань між точками повинне бути менше ніж ширина галереї.



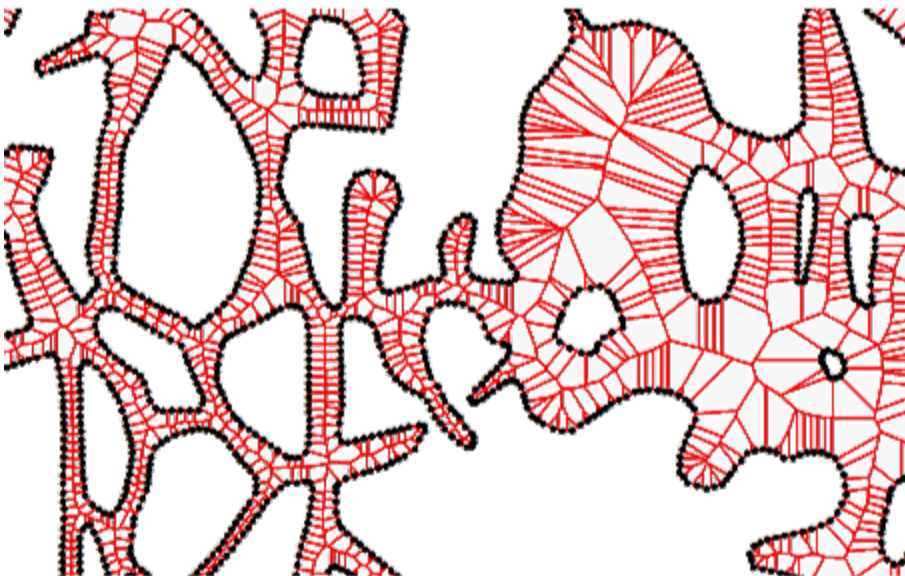
Крок 1. Згущаємо точки по контуру печери, так щоб відстань між ними було 50 см.



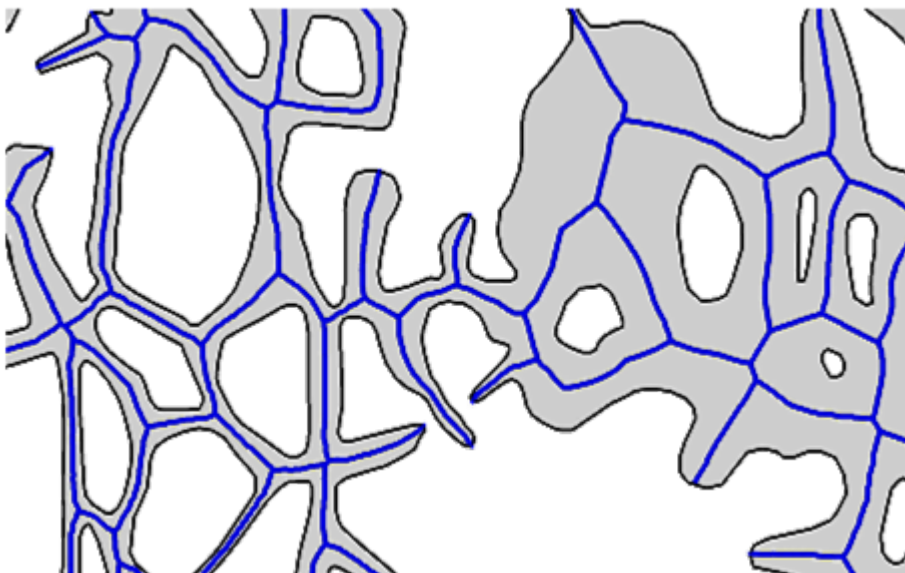
Крок 3. По отриманих точках будуємо полігони Вороного.



Крок 4. Видаляємо зайве



Крок 5. Розбиваємо полігони на складові відрізки. Видаляємо відрізки, які перетинають або упираються у границю печери. Сума довжин відрізків, що залишилися - це і є однозначно визначена проективна довжина печери.



Підсумовувати довжини відрізків у стовпчик не потрібно, наша програма з таким завданням дуже добре справляється сама, складіть запит щось типу цього `Sum(Objectlen(obj, "m"))` і отримаєте результат. Мало того визначити довжину району печери або окремо взятого фрагмента теж не проблема, зробіть вибірку відрізків у потрібній області і застосуйте запит.

Протяжність.

Навіть при самій старанній зйомці ми однаково не зможемо врахувати всі нерівності підлоги печери для того щоб визначити її протяжність.

Глибина, амплітуда.

Визначити глибину або амплітуду печери для нас не проблема. У нас є абсолютні відмітки точок у печері і на поверхні. Робимо вирахування, одержуємо результат.

Середня ширина, середня висота, площа, об'єм.

У вас є електронний полімасштабний план печери з відмітками підлоги і стелі, вимірюйте ширину галерей, обчислюйте висоту галерей і виводите середнє.

Площа, об'єм

Площу одержуємо за допомогою подвійного кліку мишки на складному полігональному об'єкті шару 3 або пишемо запит типу цього: `Sum(Area(obj, "sq m"))`.

Про об'єм читайте отут [5], [6], [7].

Висновок до другої частини

У цьому світі все має свої плюси і мінуси. І описана тут методика теж має свої плюси і свої мінуси. До плюсів можна сміливо віднести високу точність вимірів і, як наслідок, якісний кінцевий продукт - топографічний план печери.

Що до недоліків... ну, напевно недоліки теж є. Шукайте...

Удачі на теренах спелеотопографії!

А. Грачов

<http://apg.name>

+38 067 658-50-44

© Друковане видання або публікація на інших сайтах можливі тільки за згодою автора

Список літератури

1. Данилов В.В., Хренов Л.С., Кожевников Н.П. и др. Геодезия. Изд. 2-е, перераб. - М.: Недра, 1976. - 488 с.:
2. Борщ-Компониец В.И. Геодезия. Маркшейдерское дело: Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1989. - 512 с.: ил.
3. Смолич Б. А. Уравнительные вычисления. - М.: Недра 1989. 245 с.:
4. [В.В. Покалюк, В.П. Прохоренко, А.П. Грачев, И.М. Стефанишин. Комплексное морфоструктурное нивелирование пещеры Мушкарова яма \(Приднестровское Подолье\).](#)
5. Дублянский В. Н., Илюхин В. В. Путешествия под землей. - М.: ФиС, 1968.
6. Центральный совет по туризму и экскурсиям. Методика описания пещер. - М. Центральное рекламное-информационное бюро Турист, 1980.
7. Дублянский В. Н., Илюхин В. В. Крупнейшие карстовые пещеры и шахты СССР. - М.: Наука 1982.
8. Умовні знаки для топографічних планів м 1:5000 - 1:500. Міністерство екології та природних ресурсів України 2001.
9. Остьянова Н., Маркович Б., Юдина Н., Савчин М., Веников Д., Филипец А., Ковбаснюк Н., Ткачук Г., Малявский И., Овчаренко В. Условные обозначения топосъемки в горизонтальных пещерах

Словник термінів

Абрис - схематично складене креслення місцевості, що відображає топографічні об'єкти, необхідні для складання плану або профілю, а також для орієнтування на місцевості

Азимут магнітний (араб. as-sumut - шлях, напрямок) - кут, що відліковується від північного напрямку магнітної стрілки компаса за годинниковою стрілкою до заданого напрямку.

Алідада (від араб. аль-идада - лінійка) - деталь горизонтального або вертикального кола астрономічних і геодезичних кутомірних інструментів, що обертається навколо осі, яка проходить через центр лімба. За допомогою двох верньєрів або мікроскопів, розташованих на протилежних кінцях алідади, проводяться відлік кутових розподілів лімба.

Атрибут об'єкта - значення, що характеризує об'єкт у його класі. Приклади атрибутів: сталактит, кристал (атрибути об'єктів класу «вторинні утворення»); озеро, ріка, струмок (атрибути об'єктів класу «гідрографія») і т.д.

Серед атрибутів різняться постійні атрибути (константи) і змінні атрибути. Постійні атрибути характеризують об'єкт у його класі (наприклад, глибина колодязя і т.п.). Поточні значення змінних атрибутів характеризують поточний стан об'єкта (наприклад, оцінка урізу води, глибина озера і т.п.); змінюючи значення цих атрибутів, ми змінюємо стан об'єкта

Афінне перетворення - точкові взаємно однозначні відображення площини (простору) на себе, при яких прямі переходять у прямі. Якщо на площині задана декартова система координат, то будь-яке афінне перетворення цієї площини може бути визначене за допомогою т.зв. невиродженого лінійного перетворення координат x і y в точки цієї площини. Таке перетворення задається формулами $x' = ax + by + p$, і $y' = cx + dy + q$ з додатковою вимогою:

$$\begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix} = ad - bc \neq 0$$

Базисна сторона (Базис) (від грек. basis - лінія) - лінія на місцевості, отримана з безпосередніх вимірів з високою точністю, що і служить для визначення довжин сторін у геодезичній мережі (наприклад, у триангуляції).

Верньєр - пристосування, за допомогою якого відраховують частки розподілів основної шкали лімба в геодезичних приладах. Дія верньєра заснована на здатності ока впевнено встановлювати збіг двох штрихів, коли один з них є продовженням іншого і кінці їх збігаються.

Вирівнювання геодезичних вимірів - сукупність математичних операцій, для одержання вигогіднішого значення геодезичних координат точок земної поверхні і для оцінки точності результатів вимірів. Вирівнювання проводиться для усунення нев'язок, обумовлених наявністю помилок у надлишково обмірюваних величинах, і для визначення вигогідніших значень шуканих невідомих або їх значень, близьких до вигогідніших. У процесі вирівнювання це досягається шляхом визначення виправлень до обмірюваних величин (кутам, напрямкам, довжинам ліній або перевищенням).

У геодезичній практиці застосовуються різні способи вирівнювання: параметричний, корелатний, комбінований, рекурентний, параметричний спосіб із залежними змінними, корелатний спосіб з додатковими параметрами, спосіб послідовних наближень тощо.

WGS84 (World Geodetic System 1984) - тривимірна система координат для позиціонування на Землі. На відміну від локальних систем, є єдиною системою для всієї планети. WGS 84 визначає координати щодо центру мас Землі, погрішність становить менш 2 див.

В WGS84, нульовим меридіаном вважається «IERS Reference Meridian». Він розташований на 5,31" на схід від Гринвічського меридіана.

Вузол - Кінцева точка лінійного об'єкта, або вершина сторони полілінії або полігона

Генералізація - процес узагальнення даних для спрощення їх сприйняття або обробки. Наприклад, ріка може містити безліч вигинів і рукавів, однак на оглядовій карті, що охоплює більшу територію, така ріка може бути позначена прямою лінією. Аналогічно міста, які в дійсності є площадними об'єктами, на оглядових Картах показуються точками.

Географічна інформаційна система (ГІС) - інформаційний апаратно-програмний комплекс, що забезпечує збір, зберігання, обробку, доступ, відображення і поширення просторових даних.

Геодезичні знаки - наземні спорудження і підземні обладнання, якими позначаються і закріплюються на місцевості геодезичні пункти.

Геодезичні задачі - математичного виду завдання, пов'язана з визначенням взаємного положення точок земної поверхні і підрозділяється на пряму і зворотню задачу.

Пряма геодезична задача (ПГЗ) називають обчислення геодезичних координат - широти і довготи деякої точки, що лежить на земному еліпсоїді, по координатах іншої точки і по відомих довжині і дирекційному куту даного напрямку, що з'єднує ці точки.

Зворотня геодезична задача (ЗГЗ) полягає у визначенні по геодезичних координатах двох точок на земному еліпсоїді довжини і дирекційного кута напрямку між цими точками.

Геодезичний пункт - точка на земній поверхні, положення якої визначено у відомій системі координат і висот на підставі геодезичних вимірів.

Геодезичні роботи - польові і камеральні роботи, основним призначенням яких є збір даних для визначення фігури, розмірів, гравітаційного поля Землі, координат точок земної поверхні і їх змін у часі.

До геодезичних видів виробничих робіт відносять: створення державної геодезичної і нівелірної мереж (геодезична мережа), згущення державної геодезичної мережі, відновлення державної геодезичної мережі, геодинамічні виміри, геодезичне забезпечення, інженерно-геодезичні вишукування, зйомка підземних комунікацій, геодезичні роботи при будівництві, спостереження за деформаціями споруджень тощо.

Геоїд (грек. *geoeides*, від *ge* - Земля і *eidos* - вид) - утворена основний рівнею поверхнею замкнена фігура, прийнята за узагальнену поверхню Землі.

Державна геодезична мережа (ДГМ) - система закріплених на місцевості пунктів, положення яких визначено в єдиній системі координат і висот. ДГМ призначена для розв'язку завдань, що мають господарське, наукове і оборонне значення тощо.

Девіація - обумовлена наявністю місцевих магнітних полів, що накладаються на магнітне поле Землі. Місцеве магнітне поле можуть створювати корпус судна, вантаж, великі маси залізних руд, розташовані неподалік від компаса, і інші об'єкти. Правильний напрямок одержують, враховуючи в показаннях компаса виправлення на девіацію.

Дирекційний кут (від франц. *direction* - напрямок) - кут, відлічуваний від північного напрямку осевого меридіана зони по ходу годинної стрілки до даного напрямку. За допомогою дирекційного кута вирішуються всі геодезичні задачі, він застосовується в методах одержання координат тощо. Дирекційний кут використовується також в артилерії, навігації і інших науках.

Диференціальні супутникові виміри - метод супутникових вимірів, у якому визначаються відстані (збільшення) між вимірюваною точкою і точкою з відомими координатами (вихідної). Диференціальний режим реалізується за допомогою контрольного навігаційного приймача, називаного базовою станцією. Базова станція встановлюється в точці з відомими координатами. Порівнюючи відомі координати (отримані в результаті прецизійної геодезичної зйомки) з обмірюваними координатами, базовий навігаційний приймач формує виправлення, які передаються споживачам по каналах зв'язку.

Екліметр (від грек. *ekklino* - відхиляю) - портативний геодезичний прилад для вимірювання кута нахилу лінії місцевості до обр'ю і визначення ухилів і висот точок земної поверхні.

Електронна карта - цифрова картографічна модель, сформована на машинному носії з використанням програмних і технічних засобів (ГІС) у прийнятій проекції, системі координат і висот, умовних знаках, призначених для відображення, аналізу і моделювання, а також розв'язку інформаційних і розрахункових завдань за даними про місцевість.

Цифрові карти можуть бути представлені у вигляді растрових електронних карт (планів) і векторних цифрових карт (планів).

- Растрові електронні плани (карти) - електронні плани (карти), картографічна інформація яких представлена у вигляді матриці, елементами якої є коди кольорів картографічного зображення. Растрові електронні плани (карти) створюються шляхом сканування традиційних топографічних матеріалів або растеризацією векторних цифрових моделей місцевості. Растрові матеріали можуть бути чорно-білими, півтоновими і кольоровими. Основною характеристикою растрового зображення є його щільність, яка вимірюється відношенням кількості точок на дюйм (dpi).
- Векторні електронні плани (карти) - електронні плани (карти), картографічна інформація яких представлена у вигляді послідовності векторів. Семантична інформація у векторних електронних картах може не визначатися. Векторні електронні плани (карти) створюються на основі автоматизованих методів (передача інформації з електронних накопичувачів геодезичних приладів) або шляхом сканування графічного зображення традиційних планів і їх наступної векторизації.

Еліпсоїд обертання - математично правильна поверхня, на яку можна перенести результати вимірів виконаних на фізичній поверхні Землі. Земний еліпсоїд - еліпсоїд, що обертається навколо своєї малої осі.

Зниження точності (DOP) (англ. Dilution of precision) - термін, що використовується в системах супутникової навігації для опису сили геометричного взаємного розположення супутників друг щодо друга. Коли супутники в області видимості перебувають занадто близько друг до друга, говорять про «слабку» геометрію розташування (високім значенні DOP) і навпаки, при достатній далекості геометрію вважають «сильною» (низьке значення DOP). Термін може застосовуватися не тільки в супутниковій позиціонуванні, але і в інших системах локації, що включають інші, географічно рознесені станції.

Фактори, що впливають на зниження точності: орбіти супутників; наявність об'єктів-перешкод необхідні області, що закривають небо, вплив атмосфери, відбиття радіохвиль.

Ідентифікатор (id) - унікальна ознака суб'єкта або об'єкта. Ідентифікатори активно використовуються практично у всіх інформаційних системах. Іменування сутностей уможливорює посилання на них, які можуть використовуватися пізніше.

Картографічні роботи - роботи (камеральні), основним призначенням яких є створення картографічної продукції за результатами зйомки або по вихідних картографічних матеріалах, а також створення цифрових і електронних карт та цифрові технологічні процеси збору, обробки і представлення цифрової картографічної інформації, зв'язаної географічно і використовуваної в ГІС

Компас гірський - основний інструмент, за допомогою якого геолог робить польові спостереження: визначає азимути різних напрямків і елементи залягання шарів горних порід.

Кроки (від фр. croquis - начерк) - схема місцевості, зроблена шляхом окомірної зйомки або з виміром лінійних відстаней до певних орієнтирів.

Курвіметр (від лат. curvus - кривий) - прилад для вимірювання довжин відрізків кривих і звивистих ліній на топографічних планах, картах і графічних документах.

Лімб - плоске металеве кільце, розділене штрихами на рівні частки окружності (наприклад, градуси, хвилини або ін.). Лімб - найбільш важлива частина кутомірних інструментів (астрономічних, геодезичних, фізичних і ін.), що служить для відліків величин кутів. Розподіли на лімбі відлічуються за допомогою верньєрів або мікрометрів.

Лінійно-кутовий хід (геодезичний хід) - побудова на місцевості у вигляді ламаної лінії, на вершинах якої виміряються горизонтальні кути і відстані між сусідніми точками. За формою лінійно-кутові ходи підрозділяються на наступні види:

- розімкнутий лінійно-кутовий хід - вихідні пункти з відомими координатами і вихідні дирекційні кути є на початку і наприкінці ходу.
- замкнений лінійно-кутовий хід - початковий і кінцевий пункти ходи сполучені; один пункт ходу має відомі координати і називається вихідним пунктом; на цьому пункті повинне бути вихідний напрямок з відомим дирекційним кутом, і вимірюється примикаючий кут між цим напрямком і напрямком на другий пункт ходу.

- висячий лінійно-кутовий хід має вихідний пункт із відомими координатами і вихідний дирекційний кут тільки на початку ходу.

Геодезичний хід, служить плановим знімальним обґрунтуванням для топографічних зйомок або інших видів геодезичних робіт.

Магнітне відмінювання - кутова різниця між магнітним і дійсним полюсом обумовлена тим, що магнітний північний полюс Землі зміщений на 2100 км щодо істинного, географічного. Магнітне відмінювання змінюється за часом і від точки до точки на земній поверхні. У результаті вимірів магнітного поля Землі отримані карти відмінювання, які дають величину магнітного відмінювання і швидкість його зміни в різних районах. Контури нульового магнітного відмінювання на таких картах, що виходять із північного магнітного полюса, називаються агонічними лініями або агонами, а контури рівного магнітного відмінювання - ізогонічеськими або ізогонами.

Масштаб (нім. Maßstab, букв. «мірний ціпок»: Maß «захід», Stab «ціпок») - у загальному випадку відношення двох лінійних розмірів. У багатьох областях практичного застосування масштабом називають відношення розміру зображення до розміру зображуваного об'єкта. Поняття масштаб найпоширеніше в геодезії, картографії і проектуванні - відношення натуральної величини об'єкта до величини його зображення.

Масштаб карти - співвідношення довжин об'єктів на карті і на поверхні землі. Звичайно задається у вигляді відносини, наприклад, 1:10000. Це означає, що одиниця вимірювання довжин на карті (скажемо, один сантиметр) відповідає 10000 таких одиниць на поверхні Землі. Термін масштаб слід використовувати дуже обережно. З технічної точки зору, карта міського кварталу є великомасштабною (скажемо, 1:12000), а оглядова карта всього держави є дрібномасштабною (наприклад, 1:1000000). Карта масштабу 1:1000000 вважається дрібномасштабною через те, що при розподілі на 1 000 000 виходять невеликі числа.

Масштабна лінійка - елемент оформлення карти, який наочно показує співвідношення відстаней на карті і на земній поверхні.

Меридіан - лінія земної поверхні, усі точки якої мають ту саму довготу.

Меридіан указує напрямком південь-північ. Розрізняють: астрономічний меридіан - утворюється перетином земної поверхні площиною, що проходить через перетинючу лінію в даній точці і паралельно осі обертання Землі; геодезичний меридіан - визначається площиною, що проходить через нормаль до поверхні земного еліпсоїда в даній точці і його малу вісь; геоцентричний меридіан - визначається площиною, що проходить через дану точку і вісь обертання Землі; початковий меридіан - меридіан Гринвіча, що є початком відліку довгот; осьовий меридіан зони - меридіан, прийнятий за вісь системи координат на площині (поверхні).

Нев'язка - різниця між значенням функції, обчисленим за результатами вимірів, і дійсним її значенням, що виникає внаслідок неминучих погрешностей вимірів.

Є кілька різновидів нев'язок. Існують фактична і припустима (знайдена по формулі) нев'язка, у порівнянні яких визначається якість виконаних робіт. Характеризують якості роботи відносна і абсолютна нев'язкі. Нев'язка, що характеризують погрешність певного виду вимірів: кутова, лінійна, висотна нев'язкі.

Опорна геодезична мережа - система певним чином обраних і закріплених на місцевості точок, що служать опорними пунктами при топографічній зйомці і геодезичних вимірах на місцевості.

Оригінал карти - первинний екземпляр карти, що повністю включає її зміст і складений у встановлених картографічних знаках із заданою генералізацією і точністю

Пікет (від франц. piquet - кіл), у геодезії – закріплена на місцевості точка, що служить орієнтиром для установки рейки при виконанні топографічної зйомки і нівелюванні.

Полігони Вороного - являють собою області, утворені на заданій множині точок таким чином, що відстань від будь-якої точки області до даної точки менше, чим для будь-якої іншої точки множини. Границі полігонів Вороного є відріzkами перпендикулярів, відновлених до середин сторін трикутників у триангуляції Делоне, яка може бути побудована щодо тієї ж множини точок. Названа на честь Георгія Вороного. Також відома як мозаїки Вороного, діаграми Вороного, полігони Дирихле, гнізда Вигнера-Зейтца, полігони Тиссена, багатокутники близькості.,

Полігон, об'єкт-полігон - простий площадний об'єкт. "Простий" означає, що він складається з єдиної замкненої фігури. Складний полігон це об'єднані в один об'єкт безліч простих полігонів

Полілінія, об'єкт-полілінія - об'єкт на карті, ламана лінія, обумовлена послідовністю пар координат. Має більш двох вузлів, тобто не тільки точки початку і кінця.

Приймач GPS - радіоприймальне обладнання для визначення географічних координат поточного місця розташування антени приймача, на основі даних про тимчасові затримки приходу радіосигналів, випромінюваних штучними супутниками Землі.

Максимальна точність вимірювання становить 3-5 м, а при наявності коригувального сигналу від наземної станції - до 1 мм на 1 км відстані між станціями (диференціальний метод). Точність комерційних Gps-Навігаторів становить від 150 метрів (при поганій видимості супутників) до 3 метрів (на відкритому місці). Крім того, при використанні систем SBAS і місцевих систем передачі виправлень точність може бути підвищено до 1-2 метрів по горизонталі.

Просторовий аналіз - процедура, при якій на вихідні картографічні дані накладаються деякі умови з метою одержання нової інформації. Містить у собі такі функції, як оверлей полігонів, побудова буферних зон, перевірка приналежності точки полігону і т.п

Прямокутна система координат - система плоских координат утворена двома взаємно перпендикулярними прямими лініями, названими осями координат X і Y. Точка їх перетинання називається початком або нулем системи координат. Вісь абсцис - OX, вісь ординат - OY. Існують дві системи прямокутних координат: ліва і права. У геодезії застосовується ліва система. Положення точки в прямокутній системі однозначно визначається двома координатами X і Y; координата X виражає відстань точки від осі OY, координата Y - відстань від осі OX. Значення координат бувають позитивні (зі знаком "+") і негативні (зі знаком "-") залежно від того, у якій чверті перебуває дана точка.

Растрове зображення - відображення графічного матеріалу у вигляді набору точок. Растрові зображення іноді називають бітовими картами (bitmap). Космічні і аерофотознімки є найбільше часто використовуваними в ГІС растровими зображеннями. Комп'ютерне зображення може бути представлено як у растровому, так і у векторному форматі

Рекогносціювання - огляд і обстеження місцевості з метою вибору положення геодезичних опорних пунктів для обґрунтування топографічних зйомок.

Рельєф - сукупність нерівностей земної поверхні.

Румб (англ. rhumb) - гострий кут, відлічуваний від найближчого північного або південного напрямку осьового меридіана зони до орієнтуємої лінії. По румбом також мають на увазі напрямки до точок видимого обр'ю щодо сторін світу або кут між двома такими напрямками.

Система глобального позиціонування GPS (англ. Global Positioning System) - американська супутникова система навігації, часто іменована GPS. Дозволяє в будь-якій місці Землі (включаючи приполярні області), майже при будь-якій погоді, також у космічному просторі на відстані до 100 км від поверхні Землі, визначити місце розташування і швидкість об'єктів. Система розроблена, реалізована і експлуатується Міністерством оборони США.

Основний принцип використання системи - визначення місця розташування шляхом вимірювання відстаней до об'єкта від точок з відомими координатами - супутників. Відстань обчислюється за часом затримки поширення сигналу від послідовної його супутником до приймання антеною GPS-приймача. Тобто для визначення тривимірних координат GPS-приймачу потрібно знати відстань до мінімум 3 супутників і час GPS системи.

Основою системи є навігаційні супутники, що рухаються навколо Землі по 6 кругових орбітальних траєкторіях (по 4 супутника в кожній), на висоті 20180 км. Супутники випромінюють сигнали в діапазонах: L1=1575,42 МГц і L2=1227,60 МГц, останні моделі також на L5=1176,45 МГц. Навігаційна інформація може бути прийнята антеною (звичайно в умовах прямої видимості супутників) і оброблена за допомогою GPS-приймача. Інформація в C/A коді (стандартної точності), передана за допомогою L1, поширюється вільно, безкоштовно, без обмежень на використання. Військове застосування (точність вище на порядок) забезпечується зашифрованим P(Y) кодом. 24 супутника забезпечують 100% працездатність системи в будь-якому місті земної кулі, але не завжди можуть забезпечити певне приймання і гарний розрахунок

позиції. Тому, для збільшення точності позиції і резерву на випадок збоїв, загальне число супутників на орбіті підтримується в більшій кількості - 31 (до вересня 2007 року). Максимальне можливе число одночасне працюючих супутників у системі NAVSTAR обмежено 37.

Система координат - опорна система для визначення положення точок у просторі або на площинах і поверхнях щодо обраних осей, площин або поверхонь. У геодезії застосовується велику кількість систем координат. Основні з них - загальноземні системи, референсні системи, системи астрономічних і геодезичних координат, просторові прямокутні і системи прямокутних координат на площині.

Супутникова система навігації - комплексна технічна-електронно-технічна система, що полягає із сукупності наземного і космічного встаткування, призначена для визначення місця розташування (географічних координат і висоти), а також параметрів руху (швидкості і напрямку руху і т.д.) для наземних, водних і повітряних об'єктів.

Основними елементами супутникової системи є: орбітальне угруповання, що полягає із декількох (від 6 до 30) супутників, що випромінюють спеціальні радіосигнали; наземна система керування і контролю, що включає блоки вимірювання поточного положення супутників і передачі на них отриманої інформації для коректування інформації про орбіти; прийомне клієнтське встаткування, використовуване для визначення координат; інформаційна радіосистема для передачі користувачам виправлень, що дозволяють значно підвищити точність визначення координат.

Принцип роботи супутникових систем навігації заснований на вимірі відстані від антени на об'єкті (координати якого необхідно одержати) до супутників, положення яких відомо з великою точністю. Таблиця положень усіх супутників називається альманахом, яким треба завантажити у будь-який супутниковий приймач до початку вимірів. Звичайно приймач зберігає альманах у пам'яті із часу останнього вимикання і якщо він не застарів - миттєво використовує його. Кожний супутник передає у своєму сигналі весь альманах. Таким чином, знаючи відстані до декількох супутників системи, за допомогою звичайних геометричних побудов, на основі альманаху, можна обчислити положення об'єкта в просторі.

Стилі об'єктів - це призначувані користувачем атрибути, загальні для цілої групи об'єктів. Нерідко кілька об'єктів мають однакову товщину штриха і той самий колір. Замість того, щоб привласнювати ці атрибути окремо, можна визначити їх відразу всі як стиль.

Топографія (від грек. *topos* - місце) - науково-технічна дисципліна, розділ геодезії, що займається географічним і геометричним вивченням місцевості шляхом створення топографічних карт на основі знімальних робіт.

Топографічний план (від лат. *planum* - площа) - великомасштабне креслення, що зображує в умовних знаках на площині невелика ділянка земної поверхні, побудований без обліку кривизни рівнинної поверхні де масштаб зберігається у будь-якій точці і в усіх напрямках.

Топографічні роботи - польові і камеральні роботи, основним призначенням яких є топографічна зйомка з метою одержання оригіналів топографічних карт і планів. До топографічних видів виробничих робіт ставляться: топографічна зйомка, фототопографічна зйомка, аерофототопографічна зйомка, фототеодолітна зйомка тощо.

Топографо-геодезичні роботи - сукупність геодезичних і топографічних робіт, виконаних по єдиному проекту або плану.

Топографічна зйомка — сукупність робіт зі створення топографічних карт або планів місцевості за допомогою вимірів відстаней, висот, кутів і т.п. за допомогою різних інструментів (наземна зйомка), а також одержання зображень земної поверхні з літальних апаратів (аерофотознімання, космічна зйомка).

Наземні зйомки бувають планові, висотні і комбіновані. При плановій зйомці виходить топографічна карта, але без обліку рельєфу, тобто тільки ситуація (сукупність об'єктів місцевості). Висотна зйомка відображає характеристики рельєфу. Комбінована зйомка являє собою комбінацію висотної і планової зйомок. Топографічна зйомка, особливо великих масштабів, є найбільш затребуваним видом геодезичних робіт. Потреби в ній можуть виникнути при вишукуванні, відновленні топокарт, складанні генпланів, складання робочих креслень, для

задач вертикального планування, проектуванні ландшафтного дизайну ін. На основі топографічної зйомки можливо побудувати цифрову модель місцевості.

Точка, точковий об'єкт - графічний об'єкт, обумовлений єдиною парою координат X і Y. Кожній точці зіставляється свій вид символу (наприклад, кружок, квадрат і т.п.).

Точка знімального об'єктування (геодезичний пункт) - точка, положення якої визначено у відомій системі координат і висот на підставі геодезичних вимірів. Система взаємно зв'язаних геодезичних пунктів утворює геодезичну мережу, яка є основою топографічного вивчення земної поверхні і усіляких геодезичних вимірів для різних потреб.

Триангуляція (від лат. triangulum - трикутник) - один з методів створення опорної геодезичної мережі. Полягає в побудові рядів або мереж, примикаючих друг до друга трикутників і у визначенні положення їх вершин у вибраній системі координат.

Тригонометричне нівелювання - визначення висот точок земної поверхні щодо вихідної точки за допомогою кута нахилу візирного променя, що проходить через дві точки місцевості.

Уріз води - лінія перетинання водної поверхні водотоку або водойми з поверхнею суші. Положення урізу мінливо і залежить від коливань рівня води під час повідь, припливів, нагонів і сгонів води. Тому уріз води у водоймі вважають берегову смугу на кожний даний момент положення водної поверхні.

Цифрова карта - цифрова модель місцевості, створена шляхом оцифрування картографічних джерел, фотограмметричної обробки даних дистанційного зондування, цифрової реєстрації даних польових зйомок або іншим способом.

Цифрова карта є основою для виготовлення звичайних паперових, комп'ютерних, електронних карт, вона входить до складу картографічних баз даних, становить один з найважливіших елементів інформаційного забезпечення ГІС і може бути результатом функціонування ГІС.

Шар - структурна одиниця карт у ГІС. Карта, як правило, складається з декількох накладених один поверх іншого шарів (наприклад, шар вулиць, накладеного поверх шару міст, накладеного поверх шару держав).