

Грачев А. П.

**Топографо-геодезические
работы в горизонтальных
пещерах**

Практические рекомендации для спелеотопографа

Киев 2010

Содержание:

Часть 1. Топографическая съемка пещер, классическая (обзор).	3
1.1. Приборы.	4
1.2. Съемка.	5
1.3. Камеральная обработка материалов топографической съемки.	7
1.4. Определение размеров пещеры.	8
Часть 2. Топографо-геодезические работы в пещере	10
2.1. Оборудование.	10
2.2. Съемка.	11
2.2.1. Подготовительный этап.	11
2.2.2. Геодезические работы. Создание опорной геодезической сети.	11
I. Проектирование опорной геодезической сети.	12
II. Закладка базовых и долговременных точек.	13
III. Привязка к пунктам государственной геодезической сети.	13
IV. Измерения в пещере.	13
Способы измерения горизонтальных углов.	14
Измерения вертикального угла (угла наклона).	17
Измерения расстояний между пикетами, дополнительные измерения.	17
V. Обработка полевых измерений, оценка точности.	18
Система координат.	18
Геодезические задачи.	18
Вычисление координат точек замкнутого линейно-углового хода.	20
Вычисление координат точек разомкнутого линейно-углового хода.	21
Вычисление отметок точек хода.	22
Оценка точности.	23
2.2.3. Топографическая съемка пещеры.	24
I. Создание съемочного обоснования (съемочная геодезическая сеть).	24
II. Съемка пещеры.	25
Полярный способ съемки.	25
Топографическая съемки с использованием DistoX.	26
2.2.4. Камеральная обработка результатов съемки, корректировка топоплана.	27
2.2.5. Определение размеров пещеры.	30
Список литературы.	33
Приложения.	
Приложение 1. Схемы линейно-угловых ходов.	34
Приложение 2. Условные обозначения для топографических планов пещер.	35
Приложение 3. Словарь терминов	41

Топографическая съемка пещеры – это комплекс топографо-геодезических работ для определения формы и размера пещеры. По материалам топографической съемки составляется топографический план пещеры, который является основным доказательством прохождения пещеры и в дальнейшем служит для решения ряда задач, таких как спортивные, научные, хозяйственные, инженерные и т.д.

Методика топографической съемки пещер, разработанная в 60-х годах XX века и усовершенствованная различными коллективами используется и теперь. Методика хорошо описана и широко опубликована [6]. Что же она из себя представляет? Освежим память.

Часть 1. Топографическая съемка пещер, классическая (обзор).

Приборы и инструменты.

- Магнитный компас с эклиметром (лучше горный)
- Рулетка (мерная лента)
- Набор пикетов
- Пикетажный журнал
- Транспортир
- Линейка
- Карандаш

Съемка.

Бригада из двух, трех человек, начиная от входа расставляет по ходу пещеры пронумерованные пикеты, измеряет между ними азимут, расстояние и угол наклона. На пикетах измеряется ширина и высота хода пещеры. Все замеры записывают в пикетажный журнал, ведется абрис. Строго соблюдается непрерывность съемки.

Таблица 1. Пример записи в пикетажный журнал

№ пикета от - до	Азимут	Расстояние	Угол наклона	Ширина лево	Ширина право	Высота	Примечание
1-2	211	5,5	-5	0,2	1,4	10	
2-3	154	10,2		2,3	4,5	8	Развилка
2-4	190	4,9	+7	0,1	3,3	9	
4-5	220	7,1	-4	1,1	2,6	7	Лужа
2-6	89	5,0		2,3	1,4	1	Тупик
5-7	180	8	-3	3	0,2	2	
.....							

Камеральная обработка.

На листе миллиметровки, начиная с первого пикета при помощи транспорта откладывают угол (азимут) на следующий пикет, при помощи линейки откладывают расстояние между пикетами в масштабе (рабочий масштаб как правило 1:500), точками отмечают расстояние до стен пещеры (ширину хода). Далее точки, определяющие стены соединяются между собой плавной кривой, рисуются условными знаками уступы, озера и т.д., указывается направление на север, прописывается масштаб топоплана, название пещеры и ее место расположения, метрическая информация, состав группы, дата съемки. Все, топоплан пещеры готов.

Вот собственно и вся премудрость: просто, быстро и точно. Используя нашу карту, никто в пещере не заблудится!

Но так ли все просто. Рассмотрим более детально.

1.1. Приборы.

Магнитный компас.

Все знают, как устроен магнитный компас и по какому принципу он работает, а для тех, кто не знает, объясню.

Принцип действия магнитного компаса заключается в том, что в приборе указывающем направление, должно быть некое опорное направление, от которого отсчитывались бы все другие. Для магнитного компаса таким направлением служит линия, соединяющая Северный и Южный магнитные полюса Земли. В этом направлении сам собой устанавливается магнитный стержень, если его подвесить так, чтобы он мог свободно поворачиваться в горизонтальной плоскости. Дело в том, что в магнитном поле Земли на магнитный стержень действует вращающая пара сил, устанавливающая его в направлении магнитного поля. В магнитном компасе роль такого стержня выполняет намагниченная стрелка, которая вращаясь на игле, сама устанавливается параллельно магнитному полю Земли.

Поправка компаса – это отклонение его показаний от истинного Северного полюса. Ее причины – девиация магнитной стрелки и магнитное склонение.

Девиация - отклонение магнитной стрелки компаса от направления магнитного меридиана под действием местного магнитного поля. Тут все просто. Снимите с себя все железное, уберите подальше батарейки, фонарь, карбидку, застежку «молния» и никакой девиации.

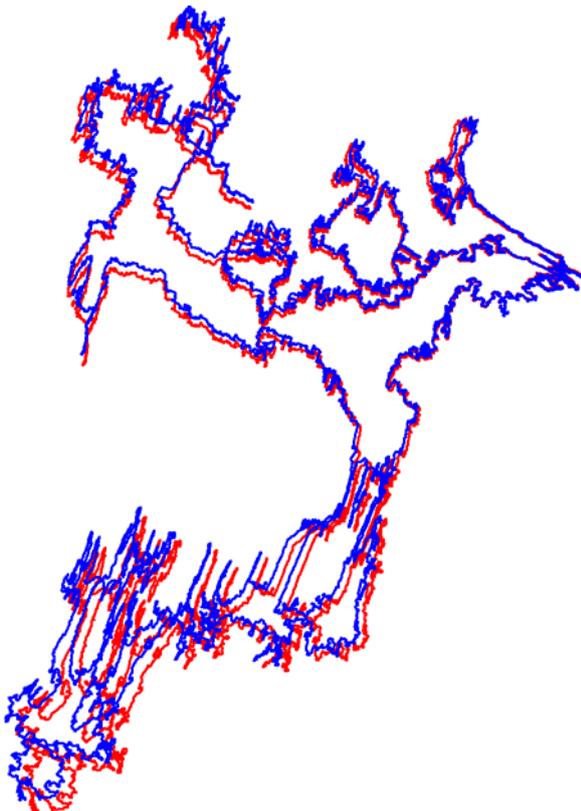
Магнитное склонение – угловая разница между магнитным и истинным полюсом обусловленная тем, что магнитный северный полюс Земли смещен относительно истинного, географического. А еще магнитное склонение изменяется по времени и от точки к точке на земной поверхности. То есть, если в районе Борщева по состоянию на 1985 год было склонение восточное $3^{\circ}07'$, а годовое изменение склонения восточное $0^{\circ}01'$, несложно посчитать, на сколько изменилось склонение, начиная с 60-х годов.

Вот технические характеристики горного компаса ГК-2 (наиболее часто используемого).

- Цена деления азимутального кольца 1° .
- Цена деления шкалы отвеса 1° .
- Застой стрелки: компаса $\pm 30'$; отвеса $\pm 1^{\circ}$

Из этого видно, что как ни старайся, но точнее 1° ничего не померяешь. Не предназначен компас ГК-2 для топографии. Это инструмент геолога, а не топографа.

Рисунок 1. Иллюстрация к тому, что будет, если мы ошиблись в измерении азимута первой линии.



Синий контур повернут относительно красного всего на 1° .

Ось поворота – точка входа в пещеру.

Максимальное расстояние между контурами (на юге) составила 72 метра !

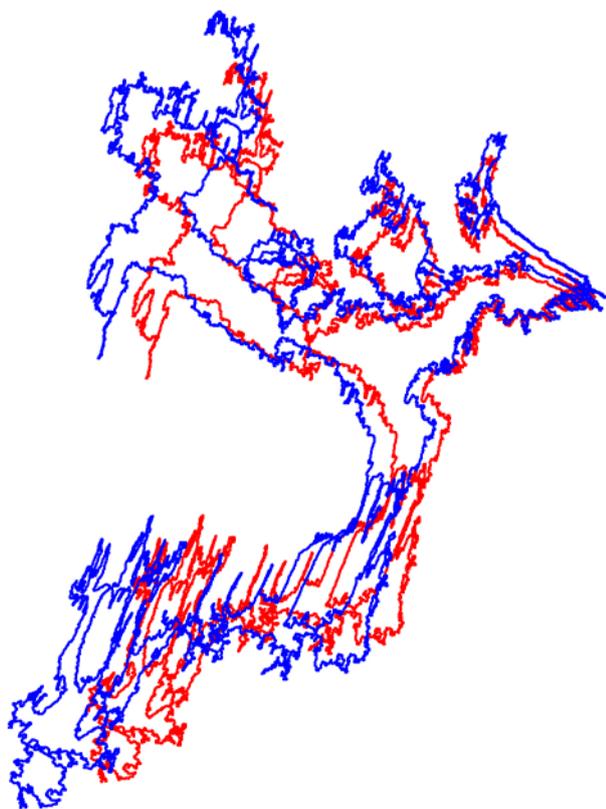
Рулетка (мерная лента).

Тут вроде все ясно, рулетка не должна быть стальной, рулетка не должна растягиваться, рулетка не должна пачкаться... Как-то не реально получается. Ну, стальная ладно, купим капроновую, выясним коэффициент линейного растяжения (для введения поправки) и будем постоянно вытирать ее от налипшей глины, пока цифры не сотрутся. Или может, ну ее эту рулетку (мороки слишком много), возьмем веревку, навяжем на нее узелков, и ладно будет, вытирать не нужно, да и сворачивается легко...

Кстати, это рекомендует всем известная «Методика описания пещер» одобренная всеми возможными и невозможными советами и комиссиями [6] *«Наиболее удобна парусиновая лента, пропитанная шеллаком, или мерный шнур из нерастягивающегося материала с узелками, завязанными через каждый метр...»*

Что смешно выглядит? Но, к сожалению, именно так довольно часто поступали, когда капроновые рулетки были в страшном дефиците, а о лазерном дальномере читали в фантастических романах.

Рисунок 2. Иллюстрация, к тому, что будет, если мы сделали всего 5000 измерений и ошиблись в каждом на $\pm 0,05$ м. при случайной компенсации.



Максимальное расстояние между контурами
на юге – 360 метров
на севере – 230 метров
на востоке – 40 метров
на западе – 210 метров

Все, об инструментах хватит, тут все ясно. Давайте поговорим о самом главном – о полевых работах, собственно о самой топосъемке.

1.2 Съёмка.

Как мы уже знаем, бригада из двух, трех человек, начиная от входа, расставляя по ходу пещеры пронумерованные пикеты, измеряет между ними азимут, расстояние и угол наклона, левую и правую ширину хода и его высоту...

Пикеты.

Пикет - это картонный или бумажный (иногда используют пластик или фольгу) прямоугольник на котором написан порядковый номер и иногда код съёмочной бригады. Собственно пикет – это точка съёмочного обоснования, которая должна закрепляться надежно и надолго. Но, к сожалению, не всегда может быть, как хочется. Картон и бумага быстро гниют в

условиях пещеры, пикет, прилепленный на стену иногда падает, и его или затаптывают в глину, или кладут на «место», однако зачастую совсем не на то, где он лежал раньше.

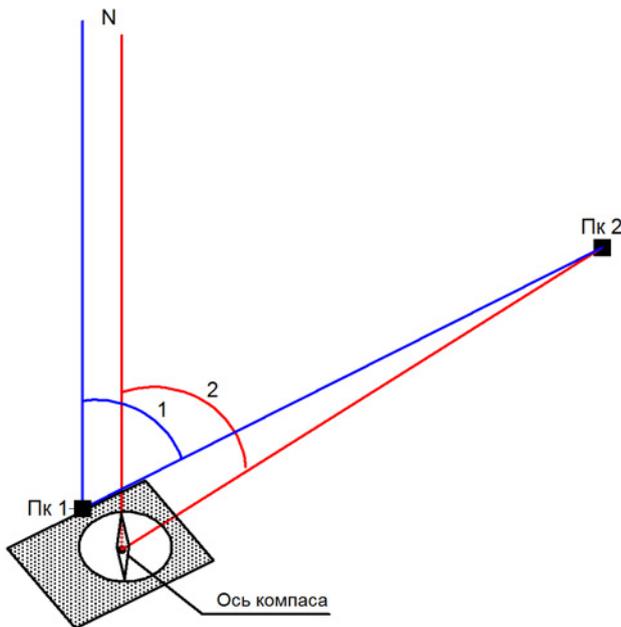
И как быть, как продолжать съемку, если конечного пикета нет, или он явно не на том месте. Начинать сначала или как?

Измерение азимута.

Тут совсем все просто. Берем компас, ставим его на пикет, направляем на второй пикет, отсчитываем азимут по северному концу стрелки (в случае, если у вас горный компас, у него лимб оцифрован против часовой стрелки), записываем результат в журнал.

Не все так просто, как кажется. Дело в том, что у компаса, как и любого угломерного прибора есть вертикальная ось, которая должна совпадать с вершиной измеряемого угла, а это значит, что эту самую ось нужно точно сопоставить с центром пикета.

Рисунок 3. Иллюстрация к тому, что будет, если ось компаса не совпадает с центром пикета.



Хотите, верти, хотите нет но углы 1 и 2 разные.
Можете проверить.
На рисунке:
Угол 1 – $63^{\circ}10'26''$
Угол 2 – $57^{\circ}36'58''$

Но как, же добиться соосности? Трудно, если нет штатива. А как использовать штатив, если пикет на стену прилеплен...? Что-то совсем грустно стало...

Можно еще поговорить о залипании магнитной стрелки, точности наведения, точности наблюдения, о девиации. Хотя, о девиации мы уже говорили.

Измерение расстояния.

Хорошо когда есть лазерный дальномер: приложил, нажал, получил результат. А когда его нет. Натянул рулетку, зажал пальцем, вытер глину, снял отсчет... и прочитал вместо 13-ти 18. Мерная лента лучше! Натянул... и давай считать узелки, парочку пропустил, а сантиметры на глаз.

Ну, в общем померили...

Измерение углов наклона.

Все когда-то учили теорему Пифагора, и большинство ее помнят. Поэтому о важности измерения угла наклона говорить не буду. Поговорим лучше о том, как его измерять.

Становимся на пикет, берем эклиметр, смотрим через него на товарища, который стоит на другом пикете, снимаем отсчет, записываем. Все.

Нет, не все. Дело в том, что высота эклиметра на точке наблюдения должна соответствовать высоте маркера на наблюдаемой точке. Иначе приходится вводить поправку. А для того, чтобы вводить поправку, нужно знать разность этих высот.

Что, еще один параметр, да ну его. И вообще для вычисления горизонтального проложения, углами до $\pm 3^{\circ}$ можно пренебречь. А превышения? Да кому нужны эти превышения...

Кстати о превышениях. Читая «Методику описания пещер» [6], я наткнулся на замечательную фразу:

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

Во как. Следуя логике автора, в результате накопления ошибок, большая и глубокая каскадная шахта выйдет за пределы земной коры..., а дальше, еще интересней и загадочней:

«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 dna относительно линии входа в пещеру...» (!?)

Интересно, о чем думал автор...?

Измерение ширины и высоты галерей.

Ширину галерей измеряют на пикете влево и вправо от направления движения на высоте ног съемщика. Что только на пикете? А как быть, если ширина хода между пикетами отличается от той, что на пикете..., ставить новый пикет или ну его, так сойдет. А высота, что тоже только на пикете? А если до потолка не дотянуться, или его не видно? Не страшно, надуем гелием шарик и запустим в неизведанное, благо гелия и шариков у нас с собой пруд пруди [6].

1.3. Камеральная обработка материалов топографической съемки.

На листе миллиметровки ставим точку и называем ее первым пикетом. Прикладываем к ней транспортир и откладываем азимут на второй пикет, ставим временную точку. Далее, соединяя эти две точки линейкой, откладываем исправленное (приведенное к горизонту) расстояние в нужном нам масштабе (как правило, используется масштаб 1:500), ставим точку и называем ее вторым пикетом. И так до тех пор, пока записи в пикетажном журнале не кончатся. Получился скелет пещеры. После этого на каждом пикете откладываем значения левой и правой ширины ходов. Соединяем эти точки плавной кривой линией.

Все, план пещеры готов, вот только не точный и с ошибками. Почему? Давайте разберемся.

Инструменты.

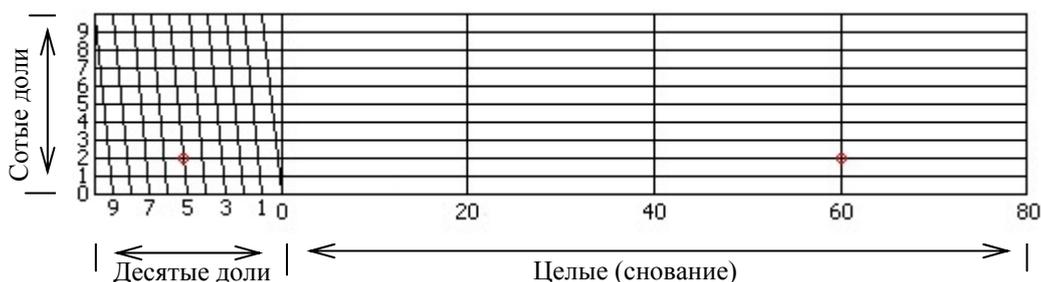
- Транспортир:

Существует несколько типов транспортиров – школьный и геодезический. В чем между ними разница? В точности. У геодезического транспортира цена деления шкалы 30', а значит, что им можно отложить угол с точностью до 15'. Ха, зачем нам какие-то 15' это если мы померили угол с точностью больше 1°, да и где взять этот самый геодезический транспортир. Используем школьный, у него цена деления 1° или даже больше, как раз то, что нужно. И пошла накапливаться угловая ошибка, начиная с первого пикета.

- Линейка:

У каждой линейки есть свои ограничения, и это все та же цена деления шкалы. У линейки она 1мм, а в масштабе 1:500, 1мм равен 0,5м. Можно конечно использовать циркуль измеритель и масштабную линейку с поперечным масштабом и тогда можно отложить длину с точностью 0,01м. Но где взять такую линейку, да и с циркулем возится долго. И пошла накапливаться линейная ошибка, начиная с самого первого пикета.

Поперечный масштаб



Можно конечно взять калькулятор или таблицу Брадиса и попробовать использовать систему прямоугольных координат, точнее будет. Но где взять калькулятор в 60-х 70-х да и в 80-х годах, а с таблицей Брадиса мороки много...

Досъемка.

Представьте себе, что лет 30 тому назад нашли мы пещеру, километров этак с двадцать. Сделали топоъемку, составили топоплан и сменили компас на лопату. И после долгих и упорных раскопок... вот он долгожданный новый район, и какой большой! Меняем лопату на компас и давай снимать. Сняли. Стыкуем старую съемку с новой, а они не стыкуются. Почему? Ищем причину... вроде и пикет старый не порушили и методику съемки не нарушили, а оно таки не лезет. А может все дело в пресловутом магнитном склонение и его ежегодном изменении... Спрашиваем у ветеранов вводили ли поправку за магнитное склонение, а они не помнят, вон сколько лет прошло. И что делать, склеим как получится. И начали районы (хорошо отсняты локально) разворачиваться друг относительно друга в разные стороны. А что делать, если старый пикет сгнил или его просто закопали...

1.4. Определение размеров пещеры.

Все знают, что каждая пещера должна иметь набор характеристик таких как длина, протяженность, глубина, амплитуда, площадь, объем, коэффициент Корбеля и т.п. и эти показатели необходимо вычислить. Как? Посмотрим, что говорят первоисточники.

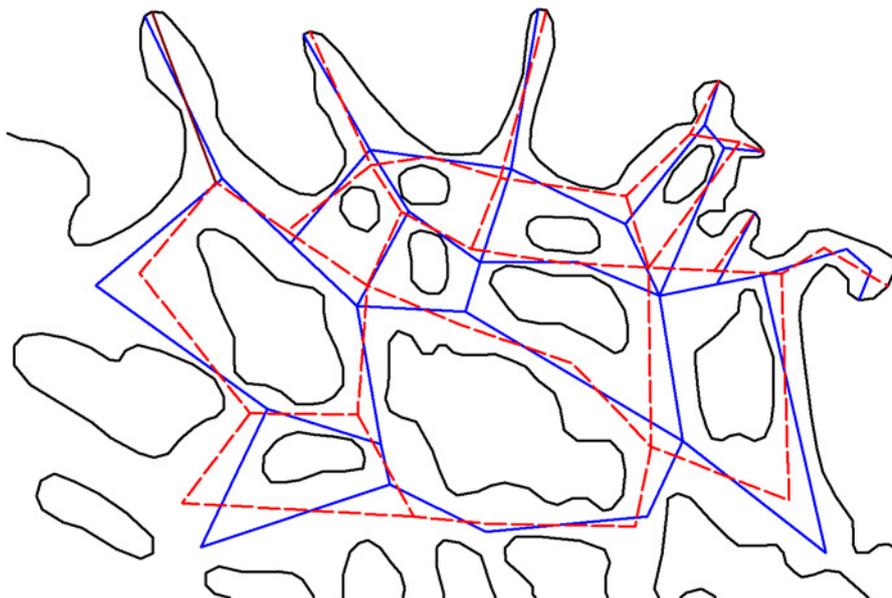
Длина пещеры.

В «Методике описания пещер» [6] читаем:

«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»

Вот как. Исходя из этого, длину пещеры следует определять суммированием не приведенных на горизонтальную плоскость расстояний из пикетажного журнала. И что мы получим..., ведь по пещере можно ходить по-разному и пикеты можно ставить по-разному, и что интересно на конечный результат (на топоплан) это не повлияет, а вот на длину пещеры повлияет и даже очень.

Рисунок 4. Иллюстрация к тому, как может отличаться сумма длин из пикетажного журнала от суммы длин из другого пикетажного журнала (фрагмент пещеры Вертеба)



Сумма красных линий – 214,47 м
Сумма синих линий – 240,71 м

Ух ты, разница 26,24м на маленьком кусочке пещеры. Какую длину будем считать правильной?

Или представьте себе следующее, идем мы по галереи, а перед нами навал камней или высыпка или глубокая яма с крутыми стенами, или огромная куча глины через которые нужно перелезть (к примеру, ход «Бечо» в Млынках). Как вы думаете, какая будет разница между измеренной длиной и истинной. И вообще сможем ли мы учесть все неровности пола пещеры для того чтобы определить ее протяженность. А собственно, почему протяженность? Интересно, как будет выглядеть пещера лабиринт, если из нее вдруг исчезнет вся глина и камни...

Глубина пещеры, амплитуда.

Опять обращаемся к «Методика описания пещер»

«Общая глубина (Н, 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" (А, м) - расстояние по вертикали от самой верхней до самой нижней точки»

Ух, совсем недавно в этой самой «Методике» читал, что «При съемке лабиринтов "подольского" типа, заложённых в пластах гипса малой мощности (от 10 до 30 м), высотная съемка практически не ведется...».

Следовательно забудем о глубине и соответственно, об амплитуде.

Площадь и объем.

Тут совсем плохо. Ведь при сложных поперечных сечениях ходов пещеры ее точную площадь определить практически невозможно. А если невозможно определить площадь, что тогда говорить об объеме. Про сложности и (или) невозможности измерения высоты галерей и разности этих высот даже вспоминать не буду.

Однако в «Методике описания пещер» говорится...:

«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.»

С первоисточником не поспоришь, считайте и площадь и объем, если вам нравятся абстрактные величины...

Все хватит. Делаем вывод.

Вывод.

Магнитная стрелка и все что с ней связано, ошибка центрирования, ошибка наведения, ошибка наблюдения, «мерная» лента с узелками, потерянные пикеты, отсутствие контроля измерений, деревянный транспортир, накопление ошибок, недостатки методики, слабо обученный персонал, многократное калькирование... Этот список можно продолжать долго.

Все это привело к тому, что форма и размеры пещер на большинстве существующих топографических планах не соответствуют действительности, а значит, данный материал нельзя использовать для решения каких либо задач. Ведь наличие ошибок в геодезических измерениях всегда влекло за собой дополнительные временные и материальные затраты.

Но на сегодняшний день все известные пещеры отсняты, составлены их топопланы. И над этим десятилетиями трудились сотни спелеологов... Отсняты сотни километров...

И что делать? Можно ли как-то это исправить? Или проще любоваться красивым, но не достоверным, а соответственно никому не нужным планом пещеры... Нет, лучше исправить!

Как? Читаем дальше.

Часть 2. Топографо-геодезические работы в пещере.

2.1. Оборудование.

Итак, уберем магнитный компас и тем самым навсегда забудем о поправках компаса, девиации, магнитном склонении и годовом изменении магнитного склонения. Забудем о рулетках, мерных лентах и прочих веревочках. Сдадим в макулатуру бумажные пикеты и выкинем транспортир с линейкой.

Теодолит или электронный тахеометр приборы хорошие, точные, но в пещеру их тащить не будем. Они большие, тяжелые, дорогие, мороки с ними много, да и знания нужны специальные. Остановимся на чем-то попроще.

Буссоль БГ-1 предназначена для измерения румбов, азимутов и горизонтальных углов.

Технические характеристики

Диапазон измерения румбов в каждой четверти	от 0° до 90°
Диапазон измерения магнитных азимутов и углов	от 0° до 360°
Цена деления шкалы румбов и горизонтального лимба	1°
Цена деления верньеров	55'
Предел допускаемой средней квадратической погрешности измерения магнитных азимутов и румбов	30'
Предел допускаемой средней квадратической погрешности измерения горизонтальных углов	10'
Порог чувствительности буссоли, не более	16'
Рабочая температура	от - 40°С до + 50°С
Масса, не более	400 гр
Средний срок службы, не менее	6 лет



Буссоль БГ-1 укомплектована отвесом и может устанавливаться как на штатив, так и на кол.

DistoX - замечательный прибор три в одном. Созданный на базе лазерного дальномера Leica Disto A3 объединяет в себе компас, эклиметр, дальномер, Bluetooth.

В сочетании с любым КПК он делает топосъемку пещер не только приятной ни и значительно упрощает и ускоряет весь процесс. Мы использовали его при топосъемки пещеры «Мушкарова яма» и отсняли 5 км лабиринта и залов примерно за 15 часов.

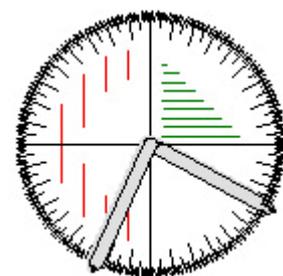
При правильной калибровке исключая или значительно снижающей влияние девиации точность определения азимута составляет 15-20'.

Подробнее читайте тут: <http://paperless.bheeb.ch>



Угломер – это самодельный инструмент, предназначенный для измерения горизонтальных углов и углов наклона. Угломер, это лимб диаметром 30см, на оси которого свободно вращаются две линейки оснащенные шкалой верньера и крючком для крепления нити.

Инструмент удобен для измерения углов в узких ходах и колодцах. Горизонтальный угол измеряется так же, как и буссолью только наведение на точку осуществляется не при помощи диоптров как у буссоли, а вращением линейки при натяжении прикрепленной к ней нити. Вертикальный угол (угол наклона) измеряется, поставив угломер на ребро, при этом одна из линеек служит отвесом. Недостатком является то, что инструмент применим только на коротких линиях до 10м, а из-за кустарной сборки приходится учитывать эксцентриситет.



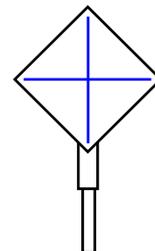
Эклиметр предназначен для измерения углов наклона (вертикальных углов). Подойдет любой эклиметр способный измерить угол наклона с точностью до 30'. Я предпочитаю обычный транспортер с отвесом, закрепленный на штативе с буссолью.

Дальномер предназначен для измерения расстояний. Подойдет любой лазерный дальномер способный измерить расстояние до 100 м с точностью $\pm 0,01$ м и обладающий встроенной памятью.

Штатив предназначен для установки буссоли, угломера и эклиметра. Подойдет любой фотоштатив дополненный креплением для буссоли, угломера и эклиметра, а также распорным устройством для установки в щелевидных галереях (переходной район в пещере Озерная).

Визирная марка служит для наведения на нее нити предметного диоптра буссоли, эклиметра, лазерного луча DistoX или лазерного дальномера.

Визирная марка представляет собой пластиковый или фанерный ромб со стороной 20 см. закрепленный на телескопическом колу. Внутри ромба клеится крест из светоотражающего материала, который собственно и служит для наведения на него, причем вертикальная риска должна быть соосна с осью кола. Одна съемочная бригада должна быть укомплектована минимум двумя такими визирными марками.



Пикеты – это не кусок бумажки или картона, это деревянный или пластиковый колышек длиной 20-25 см и диаметром 1-1,5 см с флажком на котором написан его номер.

Этот список можно пополнить любыми другими инструментами, в том числе самодельными, которые способны измерить угол с точностью до 10' и расстояние с точностью до 0,01 м.

2.2. Съёмка.

Топографическая съёмка пещеры состоит из следующих этапов:

- 2.2.1 Подготовительный этап
- 2.2.2 Геодезические работы. Создание опорной геодезической сети
- 2.2.3 Топографическая съёмка пещеры
- 2.2.4 Камеральная обработка результатов съёмки, корректировка топоплана
- 2.2.5 Определение размеров пещеры

2.2.1. Подготовительный этап.

На подготовительном этапе определяется объем предстоящих работ, намечается общий ход выполнения работ, необходимое количество бригад и оборудования, подбирается исходный картографический материал. Для работ в известных пещерах в качестве исходного материала используется имеющийся план пещеры. Во вновь открытых пещерах проводится глазомерная (полуинструментальная) съёмка. Также пещеру разбивают на съемочные районы и закрепляют за конкретными бригадами.

2.2.2. Геодезические работы. Создание опорной геодезической сети.

Этот этап включает в себя:

- I. Проектирование опорной геодезической сети
- II. Закладка базовых и долговременных точек
- III. Привязка к пунктам государственной геодезической сети
- IV. Измерения в пещере
- V. Обработка полевых измерений, оценка точности

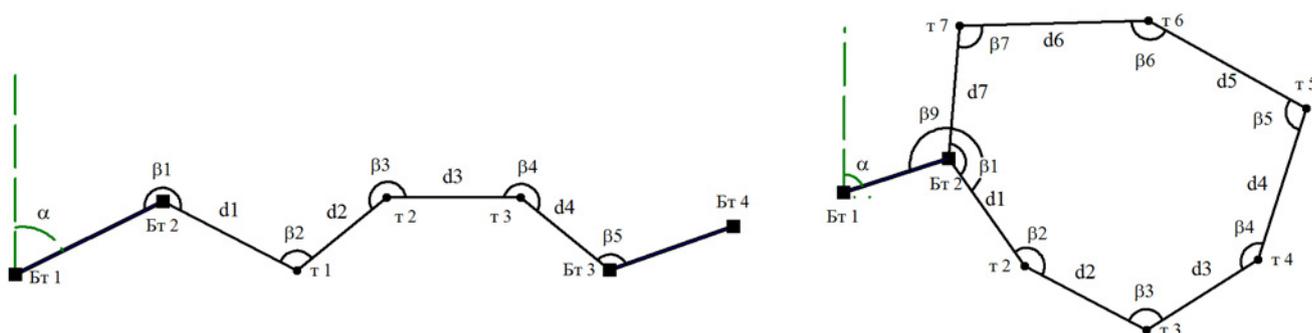
I. Проектирование опорной геодезической сети.

Опорная геодезическая сеть состоит из:

На поверхности - пара базовых точек (геодезических знаков), привязанных к Государственной геодезической сети (ГГС). Базовые точки, заложенные на поверхности в непосредственной близости от входа в пещеру, являются исходными пунктами для прокладки опорной геодезической сети в пещере и выполнения топографической съемки поверхности. Так же их можно использовать для калибровки приборов.

В пещере - из системы замкнутых и (или) разомкнутых линейно-угловых ходов, проходящих (по возможности) по легкопроходимым галереям с минимальным количеством углов поворота, при этом ход не должен пересекать самого себя, то есть образовывать петли или восьмерки. В ключевых местах углы поворота хода закрепляются парами долговременных (базовых) точек. Базовые точки служат в качестве исходных пунктов для создания съемочной сети и проведения топографической съемки пещеры.

Рисунок 5. Схемы линейно-угловых ходов. 1 – разомкнутый, 2 – замкнутый



Места прохождения линейно-угловых ходов, слабые звенья и места закрепления долговременных (базовых) точек отмечаются на плане пещеры соответствующими условными знаками. В пещере линии прохождения линейно-угловых ходов целесообразно промаркировать ниткой, это значительно облегчит дальнейшую работу.

Рисунок 6. Проект опорной геодезической сети на примере пещеры Вертеба.



II. Закладка базовых и долговременных точек.

Способов закрепления точек можно придумать много. На поверхности это может быть дюбель, забитый в пень или асфальт. В пещере - дюбель в камне, шуруп или дюбель с отвесом в потолке, четыре дюбеля на перекрестке или поперек галереи с натянутыми между ними нитками (проекция перекрещения ниток на пол является точкой) и т.д. Но все способы должны соответствовать следующим требованиям:

- Место закрепления точки должно обеспечить возможность установки инструмента и свободный доступ к нему.
- Точки должны состоять из немагнитного материала.
- Точки должны быть промаркированными.
- Точки должны составлять пары с взаимной видимостью.
- В пещере расстояние между долговременными точками в паре должно быть не менее 5 м.
- На поверхности расстояние между базовыми точками должно быть не менее 50 м.
- Для каждой точки должны быть выполнены кроки.

III. Привязка к пунктам государственной геодезической сети.

Привязка к пунктам государственной геодезической сети необходима. А что за привязка такая? Привязка к ГГС – это значит, что мы передаем координаты X , Y и высоту H от пункта ГГС с известными координатами, на пару базовых точек заложенных в непосредственной близости от входа в пещеру. Выполнив привязку, мы сможем впоследствии передать координаты (в государственной системе координат) и абсолютную высоту в любую точку пещеры, будем иметь возможность увидеть взаимное расположение пещер в регионе, использовать разнообразный, картографический материал в качестве подложки для анализа и поиска возможного продолжения пещеры и т.п. Без привязки к ГГС мы получим всего лишь красивую картинку пещеры, но не более.

Выполнить привязку к ГГС можно двумя способами:

1. Наземный метод – это прокладка теодолитных ходов, микротриангуляция, засечки. Способ классический, надежный, но требующий специальных знаний в области геодезии и достаточно трудоемкий.

2. Автономный спутниковый метод – это использование комплекта геодезических приемников GPS. Именно геодезических приемников, При использовании карманного (навигационного) приемника ошибка определения координат точки быть более довольно большая. Обратите внимание на значение DOP в вашем приемнике в момент измерения, оно должно быть от 1 до 8, если DOP выше результаты можно смело выбрасывать. При значении DOP близко 50, ошибка определения координат может составить более 100 м. Но и этот способ требует специальных знаний и навыков, да и приборы стоят недешево. Так что делать? Отказаться от привязки, но тогда мы не получим то, что хотим. Нет, отказываться не нужно. В настоящее время в каждой области и в каждом районе нашей страны есть организации, выполняющие (по доступным ценам) такие работы.

IV. Измерения в пещере.

Благодаря привязке к пунктам ГГС, у нас есть пара базовых точек на поверхности, которые имеют координаты X , Y в системе координат СК-42 или СК-63 или WGS-84 (не имеет особого значения) и высоту H в Балтийской системе высот.

Благодаря самоотверженным изысканиям и упорству у нас есть проект опорной геодезической сети и закрепленные по всей пещере долговременные (базовые) точки, на которых удобно проводить измерения. Также имеется промаркированный маршрут.

У нас есть достаточно точный угломерный прибор (буссоль Бг-1) и хороший лазерный дальномер. Есть две визирные марки и комплект пикетов.

Итак, собрав бригады из трех (лучше четырех) человек начинаем измерения.

Все начинается с распределения ролей в бригаде. Первый рабочий с визирной маркой и комплектом пикетов впереди, второй рабочий с визирной маркой сзади. Между ними инженер с прибором, рядом с инженером «записатор» с журналом. Порядок этот не нарушаем и начинаем измерения.

Первая стоянка инженера с прибором будет на одной из заложенных на поверхности базовой точке. Он центрирует прибор строго над точкой и выставляет его по горизонту.

Первый рабочий (опытный топосъемщик) на входе в пещеру устанавливает первую точку (т 1), если она не была установлена заранее на подготовительном этапе, и ставит на нее визирную

марку. Второй рабочий ставит визирную марку, на вторую, закрепленную на поверхности базовую точку.

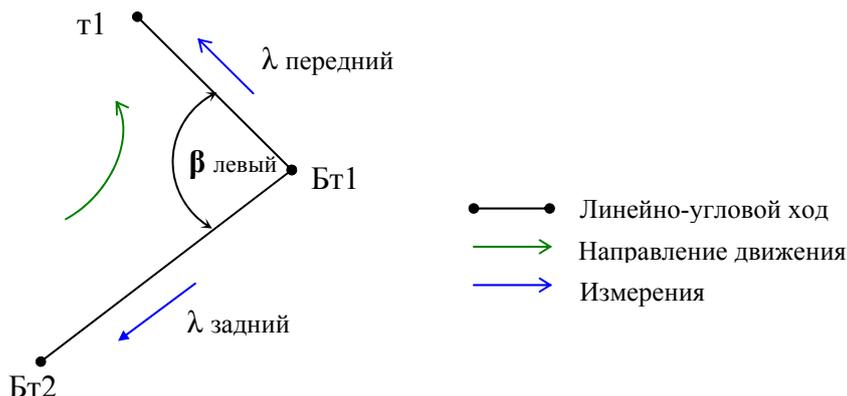
Инженер измеряет горизонтальный угол, угол наклона и расстояние между этими точками. Записатор ведет журнал.

Выполнив все необходимые действия, бригада перемещается вперед на одну точку. И так до победного конца, по заранее запроектированному маршруту. Вроде все понятно. Нет не все. Что такое горизонтальный угол, что такое угол наклона и как их измерять?

Способы измерения горизонтальных углов

Горизонтальный угол (β) - угол в горизонтальной плоскости, соответствующий двугранному углу между двумя вертикальными плоскостями, проходящими через отвесную линию в вершине угла. Горизонтальные углы изменяются от 0° до 360° . Различают левый и правый горизонтальный угол по направлению движения.

Рисунок 7. Измерение горизонтального угла.



Допустим, нам нужно измерить горизонтальный угол β при Бт1. Устанавливаем буссоль на Бт1, выставляем ее по горизонту и выполняем следующие действия:

Первый полуприем.

Поворотом алидады совмещаем нить предметного диоптра с вертикальной рисккой визирной марки на т1 (передняя точка), снимаем отсчет (λ) по лимбу (градусы) и по верньеру (минуты), при глазном диоптре, далее поворотом алидады совмещаем нить предметного диоптра с вертикальной рисккой визирной марки на Бт2 (задняя точка), снимаем отсчет по лимбу и верньеру, при глазном диоптре. Отсчеты записываем в журнал, вычисляем угол.

Левый по ходу угол: $\beta_{\text{левый}} = \lambda_{\text{передний}} - \lambda_{\text{задний}}$,

Правых по ходу угол: $\beta_{\text{правый}} = \lambda_{\text{задний}} - \lambda_{\text{передний}}$.

Второй полуприем.

Поворачиваем лимб прибора на величину близкую к 90° открепив закрепительный винт переходной втулки, после чего винт закрепляем и проводим действия аналогичные первому полуприему. Отсчеты записываем в журнал, вычисляем угол.

Два полуприема составляют один полный прием.

Измерение угла дважды позволяет избежать грубых ошибок и получить наиболее приближенное к фактическому значение угла.

После проведения измерений значения угла полученные данные в первом и втором полуприеме сравниваются. Если между значениями угла при каждом полуприеме расхождения не превышают удвоенной точности отсчетного устройства (для буссоли БГ-1 это $10'$), то окончательное значение угла вычисляют как среднее арифметическое. Если полученный результат хуже, измерения повторяются.

Таблица 2. Журнал линейно-угловых измерений.

Точка стояния	Точка наблюдения	Отсчет (λ)	Угол (п-з)	Угол гор (β)	Угол верт ($\pm\gamma$)	Расстояние Измеренное (L)	Горизонтальное проложение $d = \cos\gamma \times L$	Превышение (м) $h = \sin\gamma \times L$
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'						

Измерения горизонтальных углов на слабых звеньях сети (рис 8) рекомендуется измерять не менее чем двумя полными приемами или если есть возможность по следующей схеме (рис.9):

Слабое звено представляет собой часть геодезической сети, которая имеет исходный пункт с известными координатами только в начале хода (висячий ход), а значит ход бесконтрольный. Слабое звено возникает на входе в пещеру или при переходе из одного района пещеры в другой. Ошибки измерения углов на слабом звене может привести к тому, что пещера или часть пещеры «развернется» и сведет на нет все наши усилия. Чтобы избежать ошибок, измерения на слабых звеньях необходимо проводить особенно тщательно.

Рисунок 8. Слабые звенья в пещере Мушкарова яма.

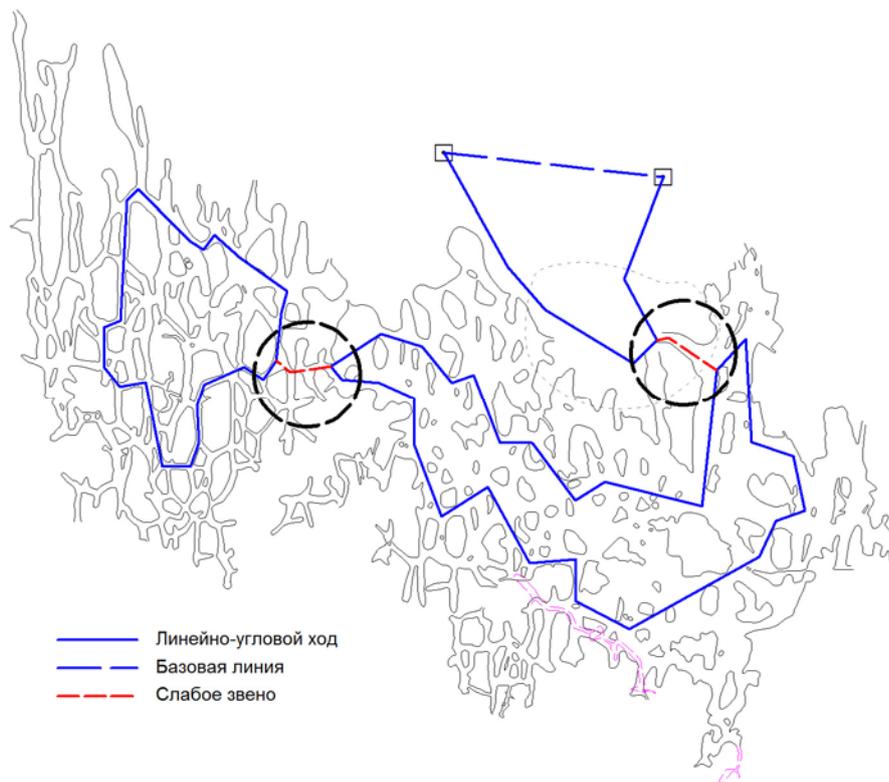
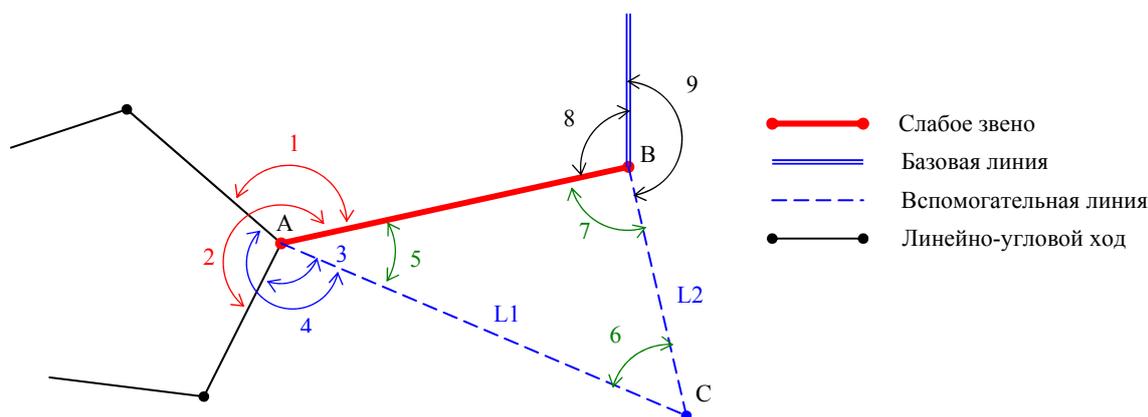


Рисунок 9. Схема измерений горизонтальных углов на слабом звене.



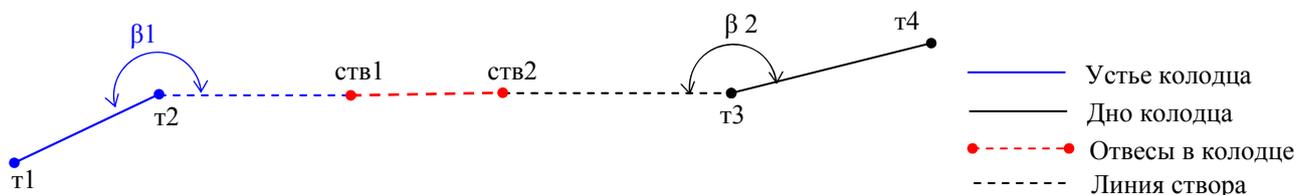
Строим вспомогательные линии L1 и L2 таким образом, чтобы они вместе с линией слабого звена образовывали треугольник. После чего измеряем все углы, показанные на рис 9. Решаем треугольник ABC, дважды замыкаем горизонт при вершине A, сумма углов 2, 3, 5 и углов 1, 4, 5 должна быть равна 360° , и замыкаем горизонт при вершине B сумма углов 7, 8, 9 должна быть равна 360°

На этом разговор о способах измерения горизонтальных углов в пещере можно было закончить, если бы не колодцы. Что поделать, колодцы существуют. И в самом деле, как измерить угол в колодце, если нет видимости сверху на нижнее продолжение хода, а снизу на верхнее. Не стоит волноваться, есть минимум два способа.

1. Способ створа двух отвесов.

В ствол колодца опускаем два отвеса (ств1, ств2) и закрепляем их на верху колодца в створе линии (т2–ств2). В качестве отвесов применяют стальную проволоку с подвешенными на концах грузами. Измеряем угол по створу (β_1) и расстояние на каждый отвес (т2–ств1 и т2–ств2). На дне колодца в створе двух отвесов ставим пикет (т3), который и будет вершиной измеряемого угла. Измеряем угол по створу (β_2) и расстояние на каждый отвес (т3–ств1 и т3–ств2). Исходное направление задается по створу отвесов. Способ прост, но менее точен, чем способ соединительного треугольника.

Рисунок 10. Схема измерений горизонтальных углов в колодце (способ 1)



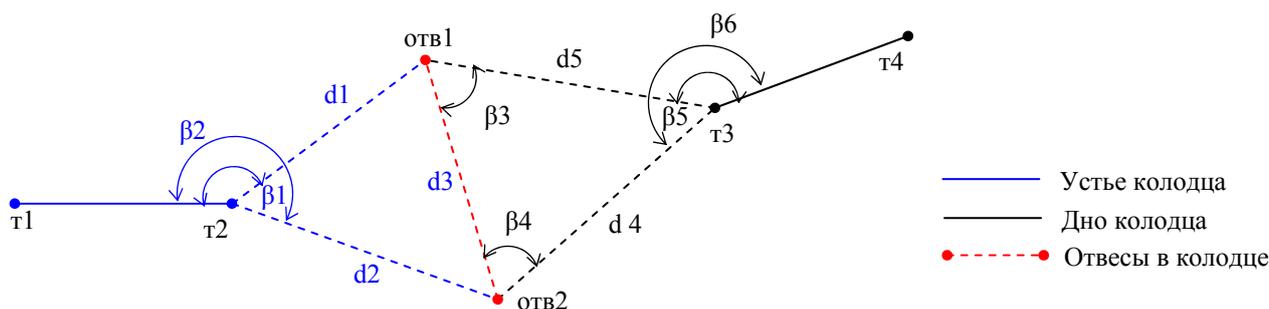
2. Способ соединительного треугольника.

В ствол колодца опускаем произвольно два отвеса (отв1, отв2), таким образом, чтоб на дне колодца под каждым из них можно было поставить прибор. Места крепления отвесов подбирают так, чтобы форма образованных треугольников была выгоднейшей, то есть угол отв1 - отв2 должен быть не менее 3° , а отношение сторон d_1/d_3 не должно превышать 1,5. Для увеличения надежности и точности измерения можно выполнить при трех отвесах.

На верху колодца измеряем углы (β_1 , β_2) и расстояния (d_1 , d_2) на отвесы, также измеряем расстояние между отвесами (d_3). На дне колодца устанавливаем произвольно пикет (т3), на котором измеряем углы между каждым отвесом и следующим по ходу пикетом (β_5 , β_6). После чего поочередно устанавливаем прибор под каждым отвесом и измеряем углы между отвесами и пикетом (β_3 , β_4) и расстояние (d_3 , d_4). Следует учесть, что расстояние между отвесами слишком мало, поэтому угловые измерения стоит проводить особенно тщательно.

Способ соединительного треугольника более точен, так как ввиду наличия избыточных измерений, позволяет производить уравнивание результатов измерений.

Рисунок 11. Схема измерений горизонтальных углов в колодце (способ 2)



По окончании измерений уравниваем треугольники, а сторона отв1-отв2 является как бы опорной для продолжения линейно-углового хода со дна колодца.

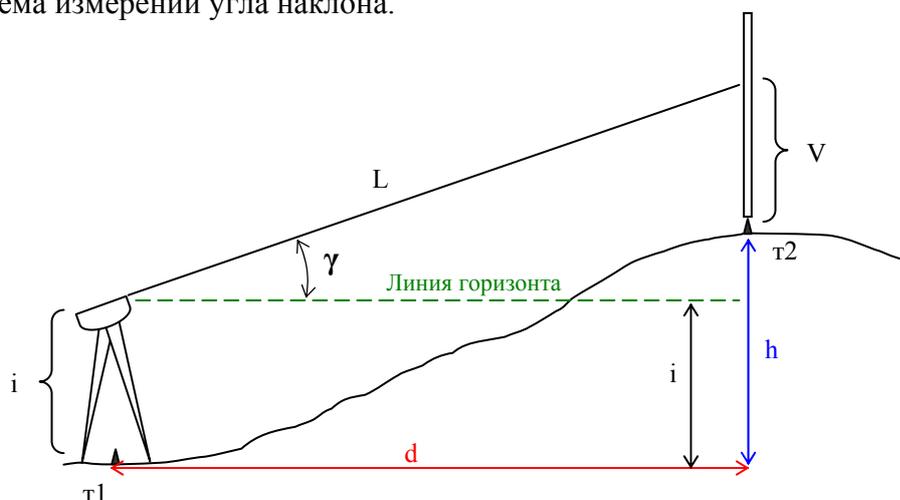
Вот собственно и все про горизонтальные углы, поговорим про углы наклона.

Измерения вертикального угла (угла наклона).

Вертикальный угол - это плоский угол, лежащий в вертикальной плоскости. К вертикальным углам относятся угол наклона и зенитное расстояние.

Угол наклона, ($\pm\gamma$) – это угол, отсчитываемый от горизонтальной плоскости вверх от 0° до $+90^\circ$, и вниз от 0° до -90° .

Рис. 12. Схема измерений угла наклона.



Устанавливаем эклиметр по точку t_1 , измеряем его высоту (i). Устанавливаем визирную марку на точку t_2 , если есть возможность устанавливаем высоту горизонтальной риски визирной марки равной высоте эклиметра. Наводим эклиметр на горизонтальную риску визирной марки, снимаем отсчет. Полученный отсчет записываем в журнал с учетом знака ($\pm\gamma$). Угол наклона следует измерять дважды, прямо и обратно по ходу.

Для чего нужен угол наклона? Зная величину угла наклона, мы имеем возможность вычислить горизонтальное проложение линии и превышение между точками.

Горизонтальное проложение линии:

$d = \cos\gamma \times L$. Причем на линиях до 10 м угол наклона до 3° можно игнорировать.

Превышение между точками, если $i=V$:

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

Превышение между точками, если $i \neq V$:

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

где:

γ – угол наклона.

L – измеренное расстояние.

d – горизонтальное проложение линии.

i – высота инструмента.

V – высота наведения.

Измерения расстояний между пикетами, дополнительные измерения.

Измерение расстояний между пикетами выполняется дважды, прямо и обратно. Точность измерений должна быть не менее 1:2000. Измерения проводятся лазерным дальномером, предварительно настроив его на измерения от задней точки. Тут все просто, упираем дальномер в переходную втулку буссоли, наводим луч на перекрещение горизонтальной и вертикальной риски визирной марки, получаем подтверждение от рабочего, что луч там, где нужно, снимаем отсчет, прибавляем к отсчету постоянную величину (радиус переходной втулки), записываем в журнал.

К дополнительным измерениям относятся измерение высоты от пола пещеры до базовой точки, если она заложена в потолке или стене и измерения глубин колодцев, через которые передаем горизонтальный угол. В этом случае глубина измеряется по отвесу на визирную марку, установленную перпендикулярно отвесу. Измерение ширины галерей не проводится, это не наша задача.

Вот и все. С измерениями закончили, переходим к обработке.

V. Обработка полевых измерений, оценка точности.

Прежде чем приступить к обработке измерения необходимо иметь некоторые представления о системе координат принятых в геодезии и научиться решать основные геодезические задачи.

Система координат.

Одна из систем координат применяемых в геодезии – это система плоских прямоугольных координат Гаусса. В этой системе за начало координат в каждой зоне принимается пересечение среднего (осевого) меридиана данной зоны с экватором. Что за зона такая?

Так вот, вся поверхность Земли условно разделена на 60 зон меридианами, проведенными через 6° или 3° . Форма зоны – это сферический двугульник, счет зон ведется от Гринвичского меридиана на восток. Средний меридиан зоны называется осевым; долгота осевого меридиана φ_0 любой 6° зоны в восточном полушарии подсчитывается по формуле:

$$\varphi_0 = 6^\circ \times n - 3^\circ, \text{ где } n - \text{ номер зоны}$$

Как это?

Представим себе, что земной эллипсоид вписан в эллиптический цилиндр. Ось цилиндра расположена в плоскости экватора и проходит через центр эллипсоида. Вращаем эллипсоид в цилиндре с шагом 6° . При каждой остановке цилиндр касается эллипсоида по осевому меридиану данной зоны. Вся поверхность зоны проектируется на поверхность цилиндра нормальными к эллипсоиду так, что изображение малого участка на цилиндре подобно соответствующему участку на эллипсоиде. Такая проекция называется конформной или равноугольной.

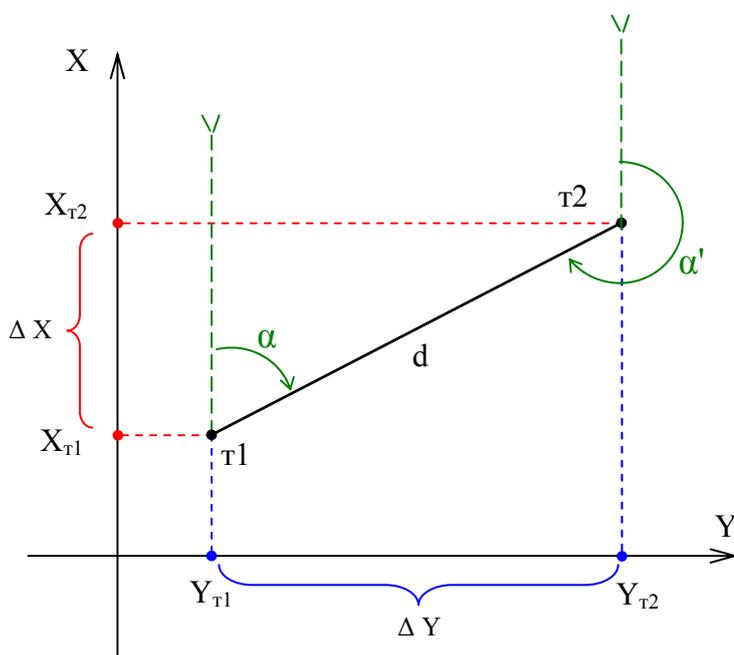
Поверхность цилиндра разрезается и разворачивается на плоскости; при этом осевые меридианы каждой зоны и экватор изображаются в виде двух взаимно перпендикулярных прямых линий. В точку их пересечения помещают начало прямоугольных координат зоны. За ось абсцисс ОХ принимают осевой меридиан зоны (положительное направление на север), за ось ординат ОУ принимают экватор (положительное направление на восток). Для исключения отрицательных значений ординат принято, что в начале координат значение Y равно 500 км.

Все, хватит теории, в нашей стране принята к использованию система плоских прямоугольных координат Гаусса и соответственно мы тоже будем ее использовать.

Геодезические задачи:

1. Прямая геодезическая задача - это вычисление координат некоторой точки, если известны координаты другой точки (X, Y), дирекционный угол (α) и расстояние (L) соединяющие эти точки.

Рисунок 13. Смысл геодезических задач.



Допустим нужно вычислить координаты т2. При этом известны координаты т1, дирекционный угол (α) и расстояние (L) (рис.13).

Из рисунка видно что:

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

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

где ΔX и ΔY – приращение координат

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

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

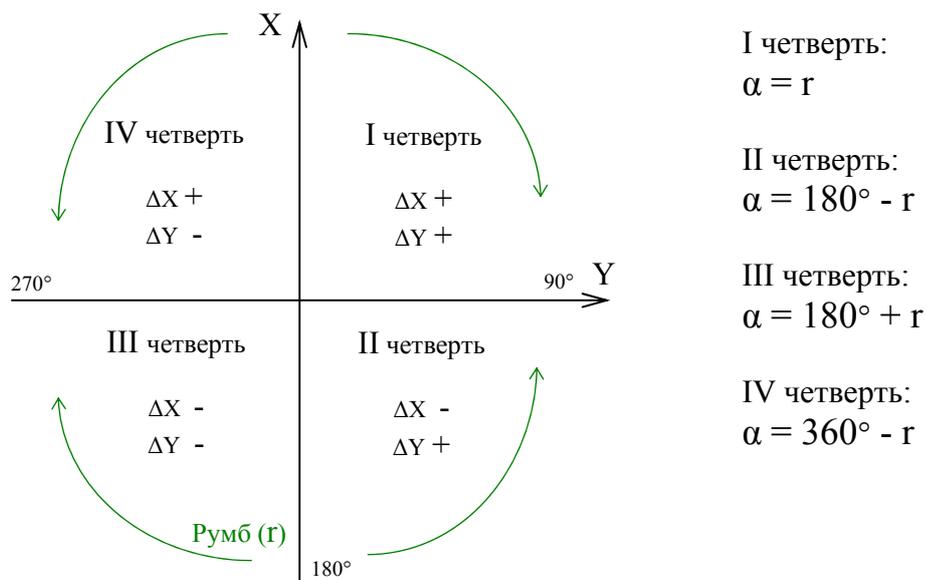
где:

α – дирекционный угол т1-т2 в градусах.

d – горизонтальное положение линии т1-т2

2. Обратная геодезическая задача - это вычисление дирекционного угла (α) и расстояния (d) соединяющие две точки с известными координатами X, Y.

Рисунок 14. Связь дирекционного угла (α) и румба (r).



Допустим нужно вычислить дирекционный угол (α') и расстояния (d) между точками т2 и т1 (рис 13).

Вычисляем приращение координат:

$$\Delta X = X_{т1} - X_{т2}$$

$$\Delta Y = Y_{т1} - Y_{т2}$$

Знаки приращения координат важны для дальнейших вычислений. В данном примере ΔX и ΔY имеют отрицательные значения, а это значит, что направление линии т2-т1 находится в третьей четверти (рис.14).

Вычисляем румб по формуле:

$$r = \text{arctg} \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

Находим дирекционный угол. Определяем номер четверти по знакам приращений координат, вычисляем дирекционный угол по формулам связи в соответствии с номером четверти. В данном примере угол находится в III четверти, поэтому:

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

Вычисляем расстояние между точками по формуле:

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

Контроль правильности вычислений есть выполнение равенства:

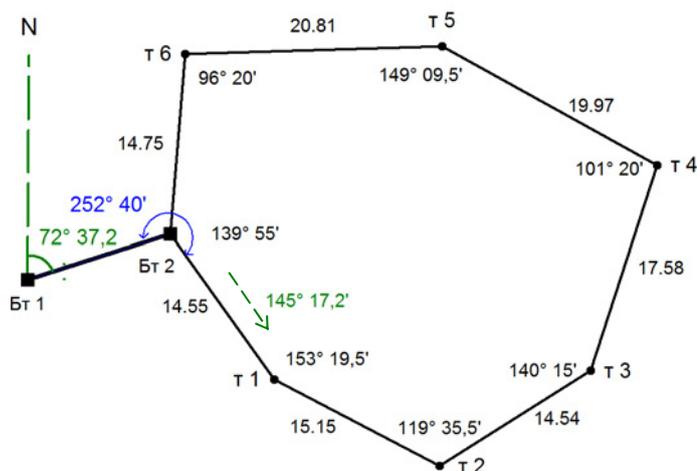
$$\Delta X \sec \alpha = \Delta Y \text{ cosec } \alpha = \frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha} = d$$

Обработка результатов измерений, вычисление координат точек.

Как бы мы старательно не измеряли углы и расстояния, из-за неизбежных погрешностей измерений их полученное значение в любом случае будет отличаться от фактического. Разность между фактической и измеренной величиной называется невязкой. В линейно-угловых ходах существуют угловая невязка и линейные невязки в приращениях координат и от них нужно избавляться, то есть выполнить уравнивание.

Вычисление координат точек замкнутого линейно-углового хода.

Итак, вначале составляем схематический чертеж нашего хода. У вершин хода выписываем номера пикетов и средние значения измеренных горизонтальных углов (β), а возле каждой стороны горизонтальное проложение (d). Также на схему выписываем координаты исходных точек и вычисленный дирекционный угол на примычную к базовой стороне сторону хода, после чего заполняем ведомость вычисления координат (Таблица 3).



Вычисление координат начинается с уравнивания углов. Для этого сравниваем сумму измеренных углов с теоретической суммой и определяем угловую невязку (f_β). Что такое теоретическая сумма?

В любом многоугольнике сумма внутренних углов равна:

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

где n – количество углов

Невязку (f_β), полученная по формуле

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{изм}} - \Sigma\beta_{\text{теор}}$$

делим пропорционально (чем длиннее линия, тем меньше невязка) на количество углов и вводим в

каждый угол с противоположным знаком. Вычисляем исправленные углы.

Таблица 3. Ведомость вычисления координат замкнутого линейно-углового хода

№ пк	Угол β изм	f_β	Угол β испр.	Дир. Угол α	d	ΔX пр.	$f_{\Delta X}$	ΔX испр.	ΔY пр.	$f_{\Delta Y}$	ΔY испр.	X	Y
Бт2												923,89	550,25
				145° 17,2'	14,54	-11,95		-11,95	+8,28		+8,28		
Т1	153° 19,5'	+0,8'	153° 20,3'									911,94	558,53
				118° 37,5'	15,16	-7,26		-7,26	+13,31		+13,31		
Т2	119° 35,5'	+0,8'	119° 36,3'									904,68	571,84
				58° 13,8'	14,55	+7,66	-0,01	+7,65	+12,37	-0,01	+12,36		
Т3	140° 15'	+0,8'	140° 15,8'									912,33	584,20
				18° 29,6'	17,58	+16,67		+16,67	+5,58		+5,58		
Т4	101° 20'	+0,8'	101° 20,8'									929,00	589,78
				299° 50,4'	19,99	+9,94		+9,94	-17,34		-17,34		
Т5	149° 09,5'	+0,8'	149° 10,3'									938,94	572,44
				269° 00,7'	20,82	-0,36		-0,36	-20,81		-20,81		
Т6	96° 20'	+0,8'	96° 20,8'									938,58	551,63
				185° 21,5'	14,75	-14,68	-0,01	-14,69	-1,38		-1,38		
Бт2	139° 55'	+0,7'	139° 55,7'									923,89	550,25
				145° 17,2'									
$f_{\text{злон}} 37'$	$\Sigma\beta$ изм 899° 54,5'	$f_\beta -5,5'$	$\Sigma\beta$ теор 900° 00'		P 117,39	$\Sigma\Delta X -34,25$ $+34,27$	$f_{\Delta X} +0,02$		$\Sigma\Delta Y -39,53$ $+39,54$	$f_{\Delta Y} +0,01$	$f_{\text{абс}} 0,02$	$f_{\text{отн}} 1:5800$	

Приступаем к вычислению дирекционных углов. Дирекционный угол вычисляется последовательно для каждой линии по формуле:

Для левых по ходу углов

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

Для правых по ходу углов

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

Если сумма $\alpha_n + \beta_{\text{исп}}^{\text{л}} < 180^\circ$ то ее увеличивают на 360° , не допуская, чтобы $\alpha_n > 360^\circ$

Вычислив дирекционные углы каждой линии и зная их горизонтальное проложение вычисляем приращение координат ΔX и ΔY (вспомним прямую геодезическую задачу).

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

Определяем линейную невязку в приращении координат. В замкнутых полигонах сумма приращения координат должна равняться нулю. Если сумма приращения координат отличается от нуля, то это и будет невязка $f_{\Delta X}$ и $f_{\Delta Y}$. Эту невязку делим пропорционально (чем длиннее линия, тем больше невязка) на количество линий и вводим в каждое приращение с противоположным знаком.

Получаем исправленные приращения координат, после чего вычисляем координаты точек по формулам:

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

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

Вычисление координат точек разомкнутого линейно-углового хода.

Координаты точек разомкнутого линейно-углового хода вычисляются по тому же принципу, что и замкнутого, однако некоторое отличие все-таки есть.

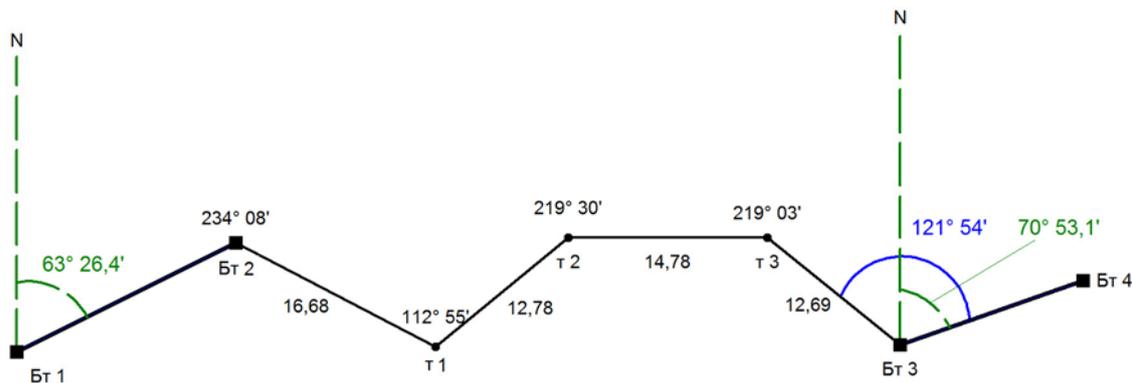


Таблица 4. Ведомость вычисления координат разомкнутого линейно-углового хода

№ пк	Угол β изм.	f_β	Угол β испр.	Дир. Угол α	d	ΔX пр.	$f_{\Delta X}$	ΔX испр.	ΔY пр.	$f_{\Delta Y}$	ΔY испр.	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	+14,79	+0,01	+14,80		
т1	112° 55'	-0,6'	112° 54,4'									916,18	565,05
				50° 28,1'	12,78	+8,13	+0,01	+8,14	+9,86		+9,86		
т2	219° 30'	-0,7'	219° 29,3'									924,32	574,91
				89° 57,4'	14,78	+0,01	+0,01	+0,02	+14,78		+14,78		
т3	219° 03'	-0,6'	219° 02,4'									924,34	589,69
				129° 59,8'	12,69	-8,16	+0,01	-8,15	+9,72	+0,01	+9,73		
Бт3	121° 54'	-0,7'	121° 53,3'									916,19	599,42
				70° 53,1'									
Бт4												920,90	613,02
$f_{\text{доп}}$ 31'	$\Sigma\beta$ изм 907° 30'	f_β +3,3'	$\Sigma\beta$ теор 907° 26,7'		P 56,93	$\Sigma\Delta X_{\text{пр}}$ -7,74	$f_{\Delta X}$ -0,04	$\Delta X_{\text{теор}}$ -7,70	$\Sigma\Delta Y_{\text{пр}}$ +49,15	$f_{\Delta Y}$ -0,02	$\Delta Y_{\text{теор}}$ +49,17	$f_{\text{абс}}$ 0,04	$f_{\text{отн}}$ 1:1400

Также как и при решении замкнутого хода составляем схематический чертеж, на который выписываем номера пикетов, средние значения измеренных горизонтальных углов, горизонтальное проложение и координаты исходных точек, после чего заполняем ведомость вычисления координат (Таб. 4).

По координатам пар базовых точек (Бт1, Бт2 и Бт3, Бт4) вычисляем начальный и конечный дирекционный угол (вспомним обратную геодезическую задачу).

В нашем примере $\alpha_{\text{нач}} = 63^\circ 26,4'$, $\alpha_{\text{кон}} = 70^\circ 53,1'$.

Находим сумму измеренных углов:

$$\Sigma\beta \text{ изм} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n$$

Находим сумму теоретических углов по одной из формул:

Для левых по ходу углов

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

Для правых по ходу углов

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

где n – количество углов

$\alpha_{\text{нач}}$ – дирекционный угол начального направления

$\alpha_{\text{кон}}$ – дирекционный угол конечного направления

По уже известным нам формулам определяем и учитываем угловую невязку, вычисляем дирекционные углы и приращения координат.

Далее находим теоретическую сумму приращений координат

$$\Sigma\Delta X_{\text{теор}} = \Delta X_{\text{кон}} - \Delta X_{\text{нач}}$$

$$\Sigma\Delta Y_{\text{теор}} = \Delta Y_{\text{кон}} - \Delta Y_{\text{нач}}$$

Определяем линейную невязку в приращения координат:

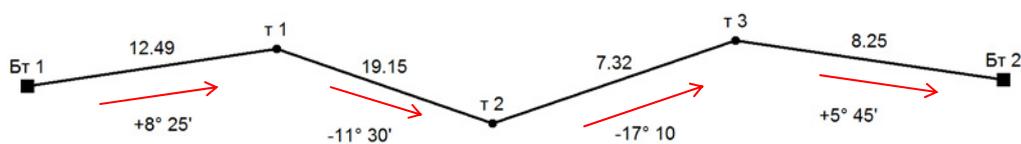
$$f_{\Delta X} = \Sigma\Delta X_{\text{пр}} - \Sigma\Delta X_{\text{теор}}$$

$$f_{\Delta Y} = \Sigma\Delta Y_{\text{пр}} - \Sigma\Delta Y_{\text{теор}}$$

После чего уже знакомым способом, разбрасываем невязку, получаем исправленные приращения координат и вычисляем координаты точек.

Вычисление отметок точек хода.

Принцип уравнивания высотного хода мало чем отличается от уравнивания линейно-углового хода. Составляем схему хода, куда выписываем данные из журнала, усредненный угол наклона (среднее арифметическое значение прямого и обратного измерения) ($\pm\gamma$) и горизонтальное проложение (d). Заполняем ведомость вычисления отметок точек хода, причем, если превышение $\pm h$ вычислено заранее (Таб. 2), колонки 2 и 3 ведомости вычисления отметок точек хода (Таб. 4) не заполняются.



Вычисляем превышения:

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

Определяем невязку f_h по формуле:

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

где:

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

$$h_{\text{теор}} = H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}$$

После чего разбрасываем невязку в каждую линию с противоположным знаком, получаем исправленные превышения и вычисляем отметки точек по формуле:

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

Таблица 4. Ведомость вычисления отметок точек хода

№ пк	Угол наклона $\pm\gamma$	Горизонтальное проложение d	Превышения полученные $\pm h$	Поправки в превышения $\pm f_h$	Превышения исправленные $\pm h_{испр}$	Отметки точек Н (м)
1	2	3	4	5	6	7
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
	$f_{\text{доп}} 4.5$	$\Sigma d 47.21$	$\Sigma h_{\text{пр}} -3.47$	$f_h +0.04$	$\Sigma h_{\text{геор}} -3.51$	

Оценка точности.

Оценка точности дает представление о качестве измерений. Так о качестве угловых измерений можно судить, определив предельно допустимую невязку и сравнив ее с полученной. Для наших измерений при использовании буссоли БГ-1, предельно допустимую угловую невязку определяем по формуле:

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

где n – количество углов

А о качестве линейных измерений говорит абсолютная невязка

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

Однако, абсолютная невязка не полностью характеризует качество линейных измерений, значение этой невязки необходимо отнести к общей длине хода (P). Такое отношение называют относительной невязкой

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P}$$

где P – длина хода в метрах.

Допустимые значения относительных невязок устанавливаются на основании практических измерений для разных условий. В нашем случае допустимое значение относительной невязки зададим величиной 1:2000, т.е. на суммарную длину хода в 100м погрешность измерения расстояний не должна превышать 5см.

Допустимую невязку в превышение определяем как:

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

где P – длина хода в километрах.

Если невязки, полученные в процессе уравнивания хуже предельно допустимых, измерения бракуются.

Вот и все. Создание съемочного обоснования успешно завершено, скелет пещеры в виде системы уравненных линейно-угловых ходов создан. Но может быть кого-то испугало обилие формул и расчетов. Не нужно пугаться, в наше время в Интернете можно найти огромное количество компьютерных программ (платных и бесплатных) благодаря которым все эти уравнивания выполняются с легкостью. Только не ошибитесь в введении исходных данных.

2.2.3. Топографическая съемка пещеры.

Топографическая съемка пещеры - это определение положения характерных точек пещеры.

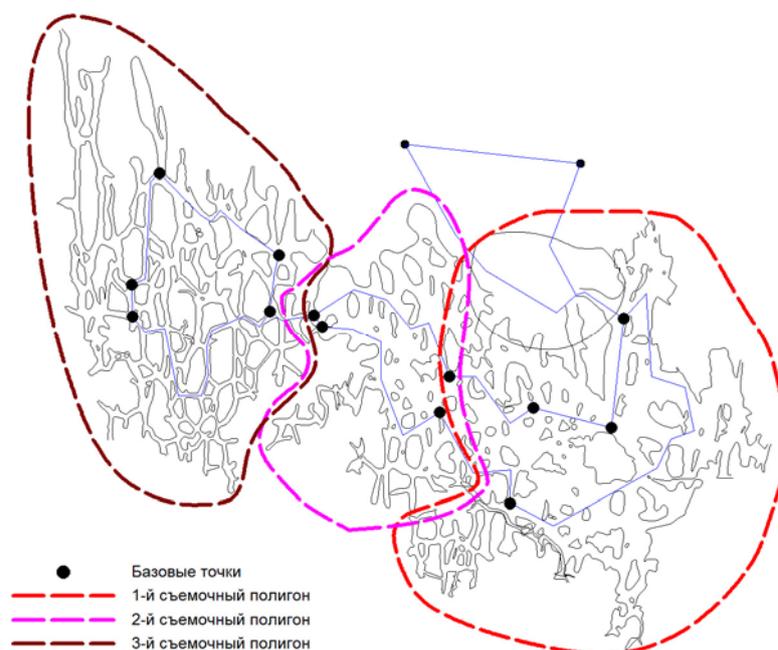
Топографическая съемка пещеры состоит из двух частей:

I. Создание съёмочного обоснования (съёмочная геодезическая сеть).

II. Съёмка контуров и рельефа пещеры.

Однако создание съёмочного обоснования и съёмку контуров и рельефа пещеры не следует разделять на этапы, эти виды работ можно проводить в комплексе. Мало того, топографическую съёмку можно начинать, не дожидаясь результатов создания и обработки опорной геодезической сети, достаточно иметь закрепленные в пещере базовые точки. Съёмка пещеры производится по отдельным, запроектированным заранее съёмочным полигонам с точек опорной геодезической сети (базовых точек) и точек съёмочного обоснования, причем полигоны должны иметь небольшое взаимное перекрытие. Количество базовых точек в полигоне должно быть не менее четырех. Не следует проектировать огромные съёмочные полигоны, небольшие участки и снимать вселей и ошибок меньше.

Рисунок 15. Съёмочные полигоны в пещере Мушкарова яма

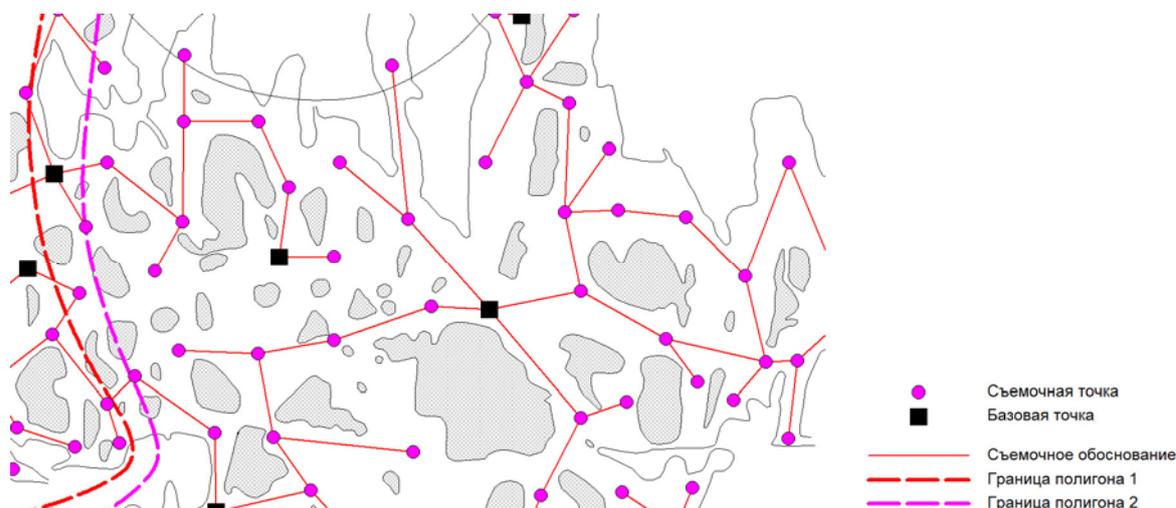


I. Создание съёмочного обоснования (съёмочная геодезическая сеть).

Съёмочное обоснование создается по методике, описанной в п. 2.2.2, с целью сгущения опорной геодезической сети до плотности, обеспечивающей выполнение съёмки контуров и рельефа пещеры.

Съёмочное обоснование состоит из системы замкнутых, разомкнутых и висячих ходов которые опираются на базовые точки, причем отдельный висячий ход должен иметь не более трех углов поворота при суммарной длине не более 50м.

Рисунок 16. Фрагмент съёмочного обоснования в пещере Мушкарова яма

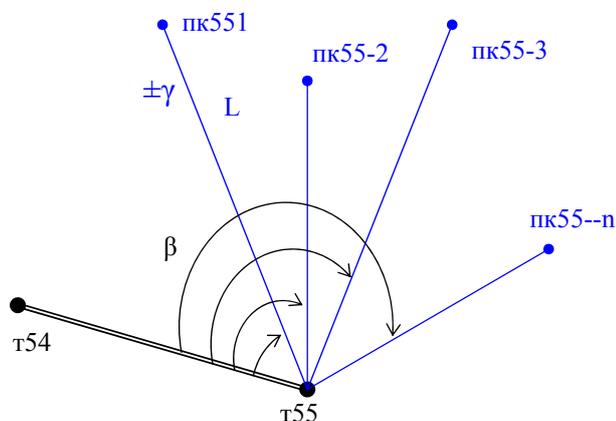


II. Съёмка пещеры.

Полярный способ съёмки

Съёмка пещеры выполняется с точек съёмочного обоснования и точек опорной сети полярным способом. Для выполнения съёмки используется буссоль или угломер, эклиметр и лазерный дальномер или заменяющий их DistoX. Вместо классического пикетажного журнала рекомендуется использовать КПК с установленной на нем программой PocketToro. Угловые и линейные измерения выполняются однократно.

Рисунок 17. Принцип полярного способа съёмки



Полярный способ съёмки - это реализация полярной системы координат (рис 17). Инструмент устанавливают на точке съёмочного обоснования т55, принимая его за начало (полюс) полярной системы координат. Полярная ось совмещается с направлением на другую точку съёмочного обоснования т54, которая принимается за ноль.

Затем измеряют горизонтальные углы β , образованные направлением т55-т54 и направлениями на пикетные точки пк55-1, пк55-2, пк55-3... пк55-n, расстояния L и углы наклона $\pm\gamma$ от точки т55 до пикетных точек пк55-1, пк55-2, пк55-3... пк55-n

Почему использовать именно полярный способ?

Дело в том, что способ определения конфигурации пещеры, используя измерения левой и правой ширины галереи на пикете груб и неточен. При съёмке полярным способом производится большее количество измерений и это дает возможность более точно определить форму и размер пещеры.

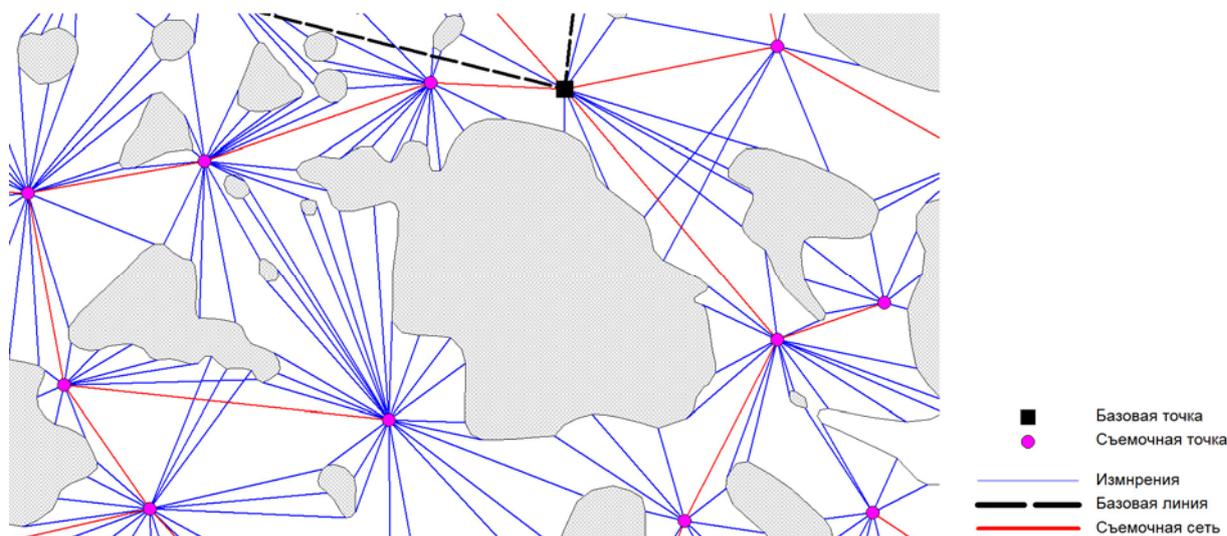
Съёмке подлежат:

Контура пещеры – это стены галерей, залов, тупиков и потолок. При съёмке галерей сложного сечения пикетные точки определяют характерные места галереи на уровне груди съёмщика. Съёмка потолка выполняется не только над инструментом, но и по другим местам пещеры тригонометрическим нивелированием.

Объекты пещеры – это озера, камины, отдельно лежащие глыбы, завалы, насыпки и др. При съёмке, объекты пещеры оконтуриваются пикетными точками. Отдельно измеряется высота каминов, навалов камней и глубина озёр, в озёрах определяется точка уреза воды на текущую дату.

Рельеф пещеры - высотная съёмка неровностей «пола» пещеры.

Рисунок 17. Съёмка пещеры полярным способом (фрагмент пещеры Мушкарова яма).



Топографическая съемки с использованием DistoX

DistoX – это прибор, созданный на базе лазерного дальномера Leica Disto A3 объединяющий в себе компас, эклиметр, дальномер, Bluetooth. В комплекте с КПК и установленной на нем программой PocketToro значительно упрощается и ускоряется весь процесс топосъемки. В результате мы получаем практически готовый топоплан.

Топосъемку выполняет бригада из трех человек: инженер с DistoX, оператор с КПК и рабочий с визирной маркой и комплектом пикетов. Создание съемочного обоснования и съемка контуров, объектов и рельефа проводится комплексно.

Работы начинаются с калибровки прибора. Калибровка необходима для исключения или значительного снижения девиации. Всего при калибровке производится 56 измерений в различных плоскостях, подробнее читайте тут: <http://paperless.bheeb.ch/download/Calibration.pdf>

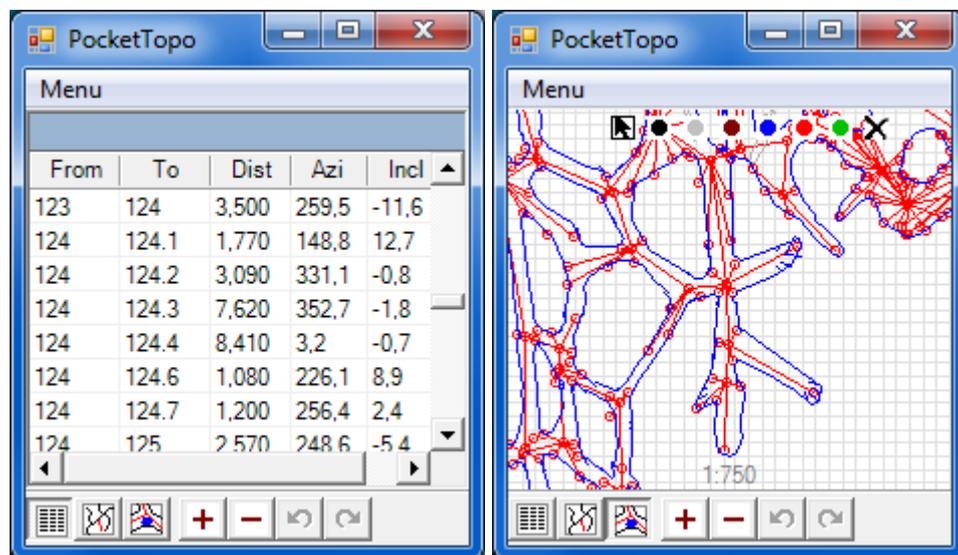
Добившись хороших результатов калибровки прибора, инженер и оператор остаются на первой съемочной точке, рабочий уходит устанавливать следующую съемочную точку. Пока рабочий выбирает место для точки, инженер выполняет съемку пещеры полярным способом.

Съемку контуров и объектов пещеры можно проводить «с руки» уперев задник прибора в колышек пикета (при небольших расстояниях ошибка измерений будет минимальной, а методика съемки исключает накопление ошибки). Измерения при создании съемочного обоснования следует выполнять со штатива на визирную марку дважды.

Информация об измерениях по каналу связи Bluetooth передается автоматически в реальном времени в КПК. Оператор, используя полученную информацию, соединяя

соответствующие точки, рисует абрис пещеры и осуществляет контроль съемки.

Рабочий, закрепив вторую съемочную точку, ставит на нее визирную марку, на которую инженер проводит замеры. Выполнив все измерения на первой съемочной точке, инженер и оператор переходят на вторую съемочную точку, рабочий уходит ставить следующую и т.д. до завершения съемки.



Топографическая съемка другими инструментами.

DistoX безусловно хороший прибор, и работать с ним удобно. Но что делать, если его нет. Не беда, для выполнения съемки подойдет буссоль или угломер, эклиметр и лазерный дальномер. Главное не нарушать методику съемки. Вот только рабочему придется больше побегать и поползать.

А о пикетажном журнале нужно все-таки забыть. Зачем он нужен, если есть КПК с PocketToro, ведь эта программа позволяет ввод данных вручную. Ну а если вы все-таки хотите писать карандашом на бумаге, используйте такой журнал:

Таблица 5.

№ пк	Угол β	Длина L	Угол наклона γ	Высота наведения V	Проложение d	Превышение h	Отметка Н	Описание
Стоянка на т 55. Ориентировка на т 54. $i=0,98$. $H_{т55}=257,75$								
т 54	0° 00'	11,54	+17° 15'					
55-1	52° 25'	6,32	-8° 55'		$\cos\gamma \times L$	$\sin\gamma \times L$	$H_{пк} + h$	стена
55-2	99° 40'	9,07	-19° 00'	1.18		$\sin\gamma \times L + i \cdot V$		озеро
т 56	79° 45'	15,58	-5° 40'					
Стоянка на т 56. Ориентировка на т 55. $i=1,05$. $H_{т56}=256,21$								
т 55	0° 00'	15,58	+5° 40'					
56-1	8° 20'	9,34	+87° 25'					потолок
56-2	29° 35'	12,17	+5° 10'	0.85				камень

2.2.4 Камеральная обработка результатов съемки, корректировка топоплана.

Глупо пользоваться транспортом и миллиметровкой для создания плана пещеры, когда на столе стоит компьютер. Остается только выбрать программу. Какую? Зависит от поставленной задачи. В нашем случае эта программа должна уравнивать геодезические сети, обрабатывать данные топографической съемки, обеспечивать возможность использования растровой подложки, иметь возможность перехода из одной системы координат в другую, обладать возможностью обмена информацией с другими системами ну и конечно качественно выводить результат на печать.

К счастью в наш век информатизации существует целая линейка настольных ГИС которые с легкостью справляются с перечисленными выше задачами. Так что выбор программы это дело вкуса и средств. Например, я использую Mapinfo.

Mapinfo – это полнофункциональная настольная ГИС, относительно недорогая, легка в изучении, проста в обращении. Для разработки собственных инструментов имеет встроенный язык программирования MapBasic. А еще в интернете есть куча дополнительного инструментария который позволяет решать практически любые задачи. Некоторые из нужных нам инструментов есть тут <http://land.kiev.ua> и тут http://glab2007.narod.ru/d_mu.html#big

Ну да ладно, программу выбрали, приступаем к камеральной обработке.

Для начала забудем о масштабе, не совсем забудем, на время. О масштабе мы вспомним тогда когда будем печатать полностью готовый топоплан пещеры. То есть изображение на экране компьютера будет масштабированным, но оперировать мы будем с истинными величинами, не применяя к ним масштабный коэффициент, а конечный продукт (топоплан) будет полимасштабным. Что сложно? Ничего, привыкните.

Итак, выполнив уравнивание линейно-угловых кодов и получив координаты базовых точек сохраняем их на отдельном слое в виде точечных объектов. Следует учесть, что практически во всех настольных ГИС, в том числе и Mapinfo используется Декартова система координат, а не применяемая в геодезии система координат Гаусса. Разница между ними – это поворот осей на 90°, так что меняем местами значения X и Y и все становится на свои места.

Экспортируем данные топографической съемки из PocketToro в файл *.dxf, к сожалению, экспорт, в какой либо другой векторный формат в актуальной версии PocketToro v1.34 не предусмотрен.

Формат dxf (**d**rawing **e**xchange **f**ormat) – это открытый формат файлов для обмена двумерной графической информацией. Был создан фирмой Autodesk для системы AutoCAD. Поддерживается практически всеми ГИС и САД системами.

Импортируем файл *.dxf в нашу ГИС и сохраняем в отдельном слое. Что мы получили. Мы получили первый слой с базовыми точками уравненного линейно-углового хода и второй слой с данными топографической съемки, на котором тоже есть базовые точки линейно-углового хода. Эти точки мы будем использовать в качестве контрольных точек для преобразований. Естественно, что на слое съемки контрольные точки не будут совпадать с такими же точками на слое линейно-углового хода, так как их координаты не были заданы заранее и съемочный ход не был уравнен, а следовательно вся съемка будет искажена.

Для того чтобы это исправить используем аффинные преобразования и как бы «натягиваем» слой съемки на слой базового линейно-углового хода по лучшим комбинациям из контрольных точек.

Рисунок 18. До преобразования

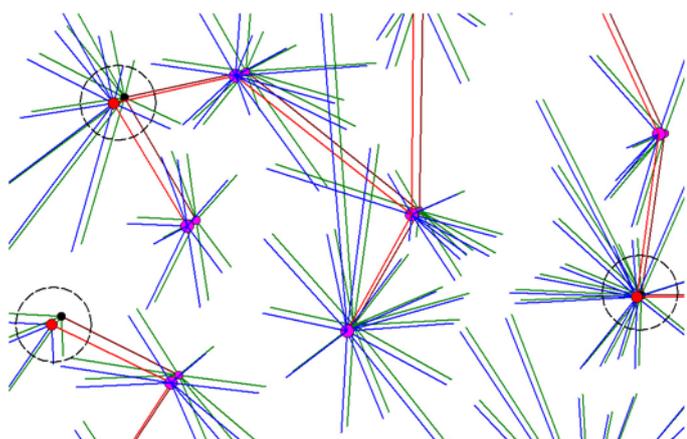
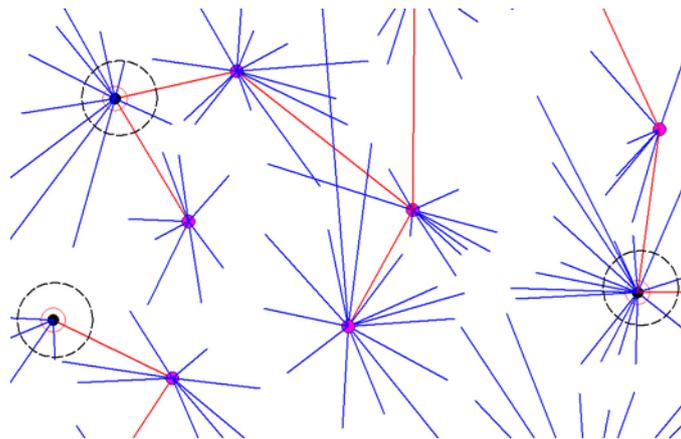


Рисунок 19. После преобразования

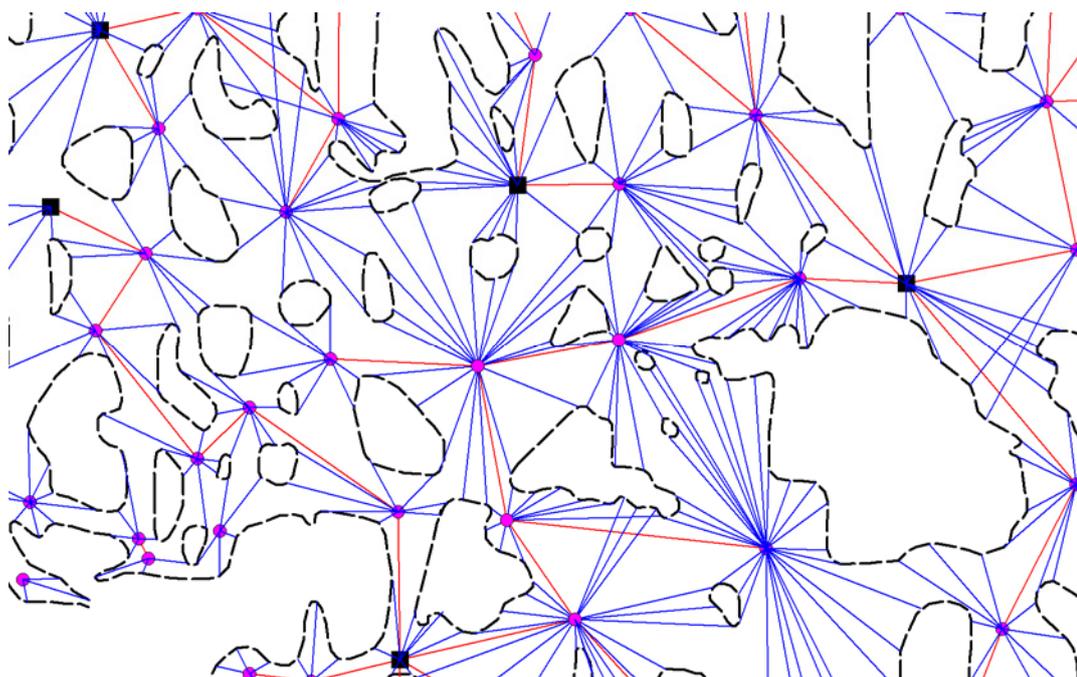


Аналогичные действия выполняем со всеми съемочными полигонами. Контролем служит взаимное перекрытие съемки на краях полигонов. После преобразования разность между пикетами в области перекрытия не должна превышать 30см (0,3мм в масштабе плана 1:1000). Это простой способ уравнивания.

Более сложный способ заключается в отдельном уравнивании ходов съемочного обоснования способом, описанным в п. V, или используя более строгие способы уравнивания системы ходов [3]. После уравнивания с каждой точки съемочного обоснования разбрасываются контурные пикеты [1]. Этот способ обработки используется теми, кто ведет бумажный журнал и не верит в аффинные преобразования. В любом случае независимо от способа обработки конечный результат будет практически одинаков.

Теперь приступаем к обрисовке контуров (стен) пещеры. Создаем новый слой, на котором, используя абрис (электронный или бумажный) соединяя полилиниями соответствующие точки, создаем контур пещеры.

Рисунок 20. Построение контуров пещеры



Далее, создаем новый слой, на котором аналогичным образом рисуем объекты пещеры, и элементы рельефа которые отображаются в масштабе карты (озера, камин, уступы, навалы камней, насыпки и т.п.) в виде площадных или линейных объектов.

Объекты, которые не отображаются в масштабе карты (сталактиты, сталагмиты, кристаллы и т.п.), отмечаем на другом слое в виде точечных объектов.

В таблицы этих слоев записываем атрибуты объектов.

Таблица 6. Пример записи атрибутов объектов.

id (целое)	id_style (целое)	name (символьное 25)	height_object (числовое)	depth_object (числовое)	H (числовое)	date (дата)
18	12	камин	8,5			02.05.2010
28	9	озеро		-4,7	257,18	02.05.2010
36	42	капель				05.05.2009
41	48	сталагмит	1,2			07.05.2010
28	9	озеро		-2,4	257,19	24.08.2010
54	54	точка связи				08.01.2009

*Предложенный в таблице список атрибутов объектов не окончательный, его можно и нужно дополнять.

В качестве идентификатора объекта (id) служит номер объекта в таблице условных знаков (приложение 2).

Итак, в результате вышеописанных действий мы получили некоторое количество слоев с элементами пещеры.

Список слоев и их минимальная структура в порядке отображения:

Слой 5. Внемасштабные элементы (сталактиты, сталагмиты, кристаллы, точки связи и т.п.).

Тип объекта		Точка, полилиния
id	целое	номер объекта в таблице условных знаков
id_style	целое	атрибут общий для группы объектов определяющий их визуализацию
name	символьное 25	название объекта
height_object	числовое	относительная высота объекта (м)
depth_object	числовое	относительная глубина объекта (м)
H	числовое	абсолютная высота объекта (м)
date	дата	дата проведения измерений

Слой 4. Масштабируемые элементы (озера, камины, уступы, глыбы, высыпки и т.п.).

Тип объекта		Полигон, полилиния
id	целое	номер объекта в таблице условных знаков
id_style	целое	атрибут общий для группы объектов определяющий их визуализацию
name	символьное 25	название объекта
height_object	числовое	относительная высота объекта (м)
depth_object	числовое	относительная глубина объекта (м)
H	числовое	абсолютная высота объекта (м)
date	дата	дата проведения измерений

Слой 3. Контурные элементы (стены галерей, залов, потолок)

Тип объекта		Полигоны, сложный полигон
id	целое	номер объекта в таблице условных знаков
id_style	целое	атрибут общий для группы объектов определяющий их визуализацию
name	символьное 55	название объекта
H	числовое	абсолютная высота объекта (м)
date	дата	дата проведения измерений

Слой 2. Съёмочное обоснование, пикеты

Тип объекта		Точка, полилиния
id	целое	номер объекта в таблице условных знаков
id_style	целое	атрибут общий для группы объектов определяющий их визуализацию
point_number	символьное 25	№ точки или название
line_name	символьное 25	№ хода или название
X	числовое	координата X (м)
Y	числовое	координата Y (м)
H	числовое	абсолютная высота (Балтийская система высот) (м)
f	символьное 10	достигнутая точность (относительная)
chief_name	символьное 55	ФИО руководителя работ
date	дата	дата проведения измерений

Слой 1. Опорная геодезическая сеть (точки опорной геодезической сети)

Тип объекта		Точка, полилиния
id	целое	номер объекта в таблице условных знаков
id_style	целое	атрибут общий для группы объектов определяющий их визуализацию
point_number	символьное 25	№ точки или ее название
line_name	символьное 25	№ хода или название
X	числовое	координата X (м)
Y	числовое	координата Y (м)
CS	символьное 25	система координат
H	числовое	абсолютная высота (Балтийская система высот) (м)
f	символьное 10	достигнутая точность (относительная)
chief_name	символьное 55	ФИО руководителя работ
date	Дата	дата проведения измерений

Глядя на приведенные выше таблицы, может возникнуть вопрос: Для чего все это, какие-то слои, атрибуты и прочее. Мы засняли пещеру, нарисовали ее контур, нагрузили условными знаками и хватит. Нет, не хватит. Изложенное выше это попытка систематизации и первый шаг к созданию полнофункциональной информационной системы. Конечно, можно пойти по другому пути, наплотить около сотни тематических слоев, в которые поместить соответствующие объекты и по

мере надобности включать нужные или отключать ненужные слои. Или поместить все объекты в один слой и сделать план пещеры нечитаемым.

Стоп. Похоже, мы начали отклоняться от темы. Сейчас мы говорим о топографической съемке пещер, а не о принципах создания ГИС. О ГИС поговорим в другой раз.

Но, так или иначе, топоплан пещеры почти готов.

Корректировка топоплана.

Как бы мы не старались, но в любом случае что-то где-то пропустим. Это плохо, но поправимо. Итак, берем распечатанный топоплан нашего съемочного района в читаемом масштабе, берем лазерный дальномер и уходим в пещеру исправлять ошибки, если они есть. Проходя по пещере, сверяем топоплан с натурой, определяем расхождения и исправляем их на месте. Поможет нам в этом дальномер, пропущенные объекты можно доснять способом линейных промеров от жестких контуров. По возвращении на базу вносим изменения в соответствующие слои.

2.2.5. Определение размеров пещеры

Как мы знаем, каждая пещера имеет морфометрические показатели.

Это длина пещеры, протяженность, глубина, амплитуда, средняя ширина, средняя высота, площадь, объем, коэффициент пустотности Корбеля, коэффициент протяженности, коэффициент вертикальности, коэффициент извилистости, коэффициент площадной закарстованности и удельный объем.

Не пугайтесь, мы не будем говорить обо всех показателях, методика их расчета итак хорошо описана [5], [6], [7]. Остановимся на основных.

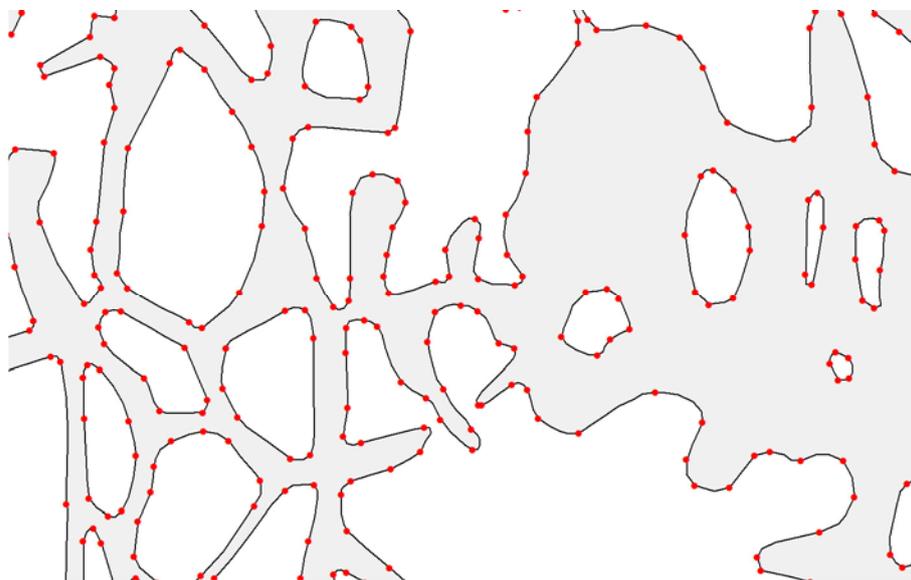
Длина пещеры.

Мы уже знаем, способ определения длины пещеры суммированием расстояний из пикетажного журнала оказался несостоятельным. Водить курвиметром по готовому топоплану тоже не выход. Так что делать, как определить длину пещеры. Размышляя над этим вопросом, я вспомнил о полигонах Вороного. Кстати, модуль построения полигонов Вороного имеется в любой настольной ГИС.

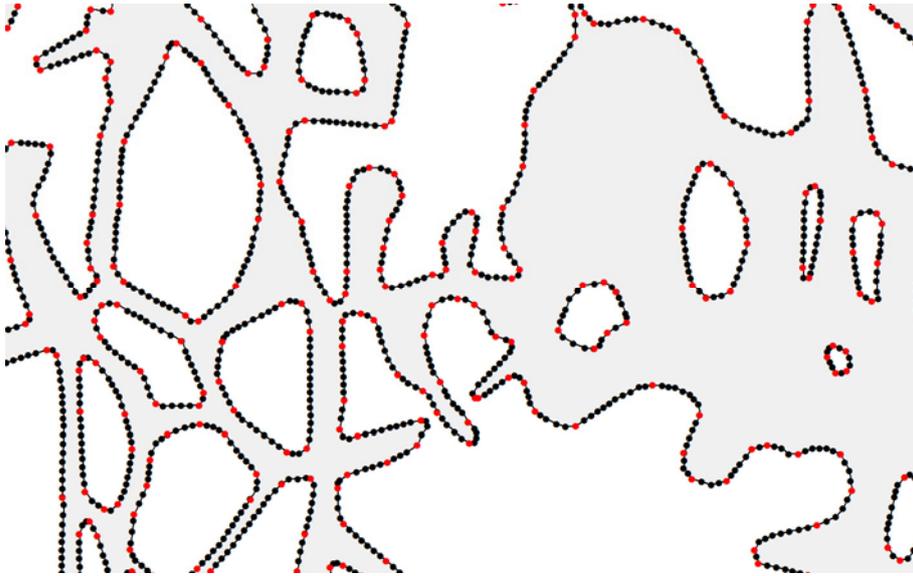
Полигоны Вороного это области, образуемые на заданном множестве точек таким образом, что расстояние от любой точки области до данной точки меньше, чем для любой другой точки множества. Границы полигонов Вороного являются отрезками перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в триангуляции Делоне, которая может быть построена относительно того же точечного множества.

А что может получиться. Попробовал, получилось...

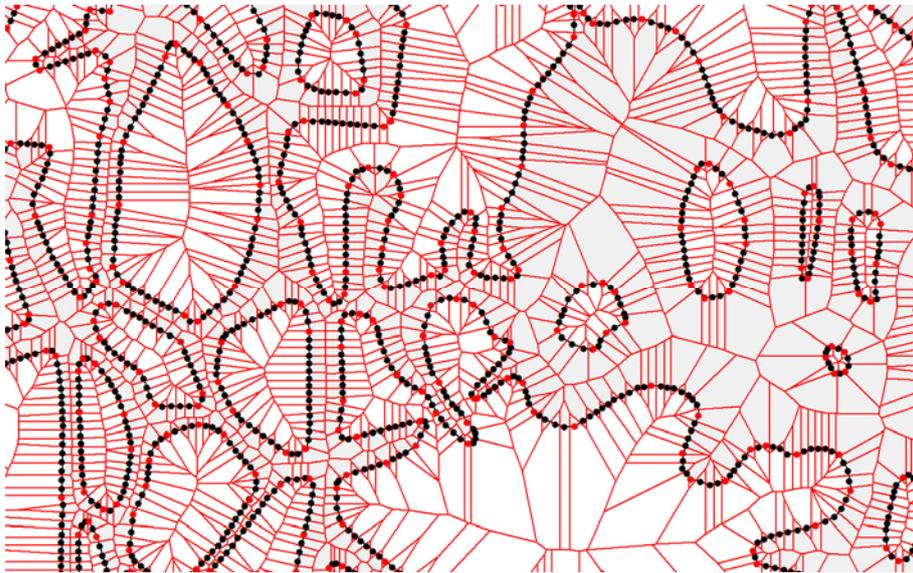
На рисунке показан фрагмент контура пещеры с пикетными точками. Эти точки являются исходными для построения полигонов Вороного, однако их количества явно не достаточно. Для получения хорошего результата расстояние между точками должно быть меньше ширины галереи.



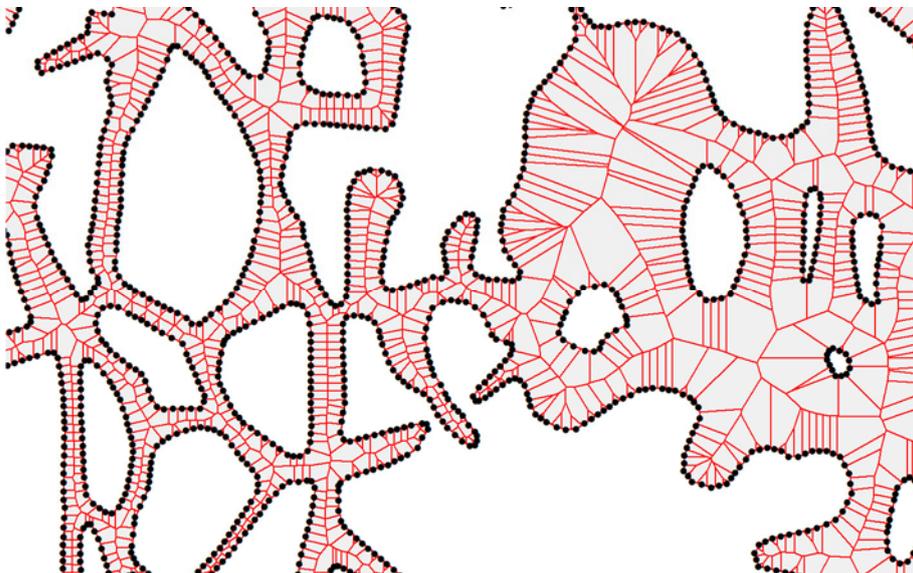
Шаг 1. Сгущаем точки по контуру пещеры, так чтоб расстояние между ними было 50см.



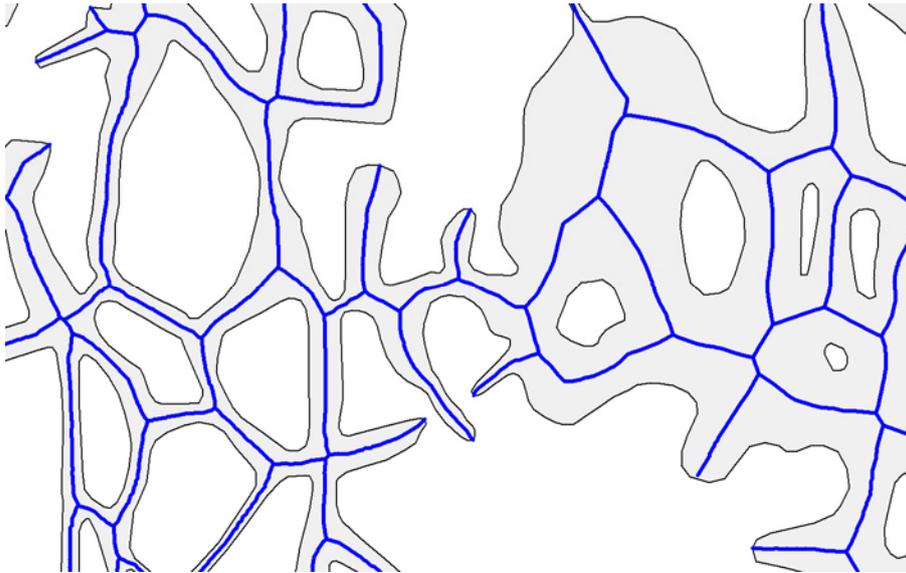
Шаг 3. По полученным точкам строим полигоны Вороного.



Шаг 4. Убираем лишнее



Шаг 5. Разбиваем полигоны на составляющие их отрезки. Удаляем отрезки, которые пересекают или касаются границы пещеры. Сумма длин оставшихся отрезков – это и есть однозначно определенная **проективная длина пещеры**.



Суммировать длины отрезков в столбик не нужно, наша программа с такой задачей очень хорошо справляется сама, составьте запрос что-то типа этого `Sum(ObjectLen(obj, "m"))` и получите результат. Мало того определить длину района пещеры или отдельно взятого фрагмента тоже не проблема, сделайте выборку отрезков в нужной области и примените запрос.

Протяженность.

Даже при самой старательной съемке мы все равно не сможем учесть все неровности пола пещеры для того чтобы определить ее протяженность.

Глубина, амплитуда.

Определить глубину или амплитуду пещеры для нас не проблема. У нас есть абсолютные отметки точек в пещере и на поверхности. Делаем вычитание, получаем результат.

Средняя ширина, средняя высота, площадь, объем.

У вас есть электронный полимасштабный план пещеры с отметками пола и потолка, измеряйте ширину галерей, вычисляйте высоту галерей и выводите среднее.

Площадь, объем

Площадь получаем при помощи двойного клика мышки на сложном полигональном объекте слоя 3 или пишем запрос типа этого: `Sum(Area(obj, "sq m"))`.

Об объеме читайте тут [5], [6], [7].

Заключение

В этом мире все имеет достоинства и недостатки. И описанная здесь методика тоже имеет свои достоинства и свои недостатки. К достоинствам можно смело отнести высокую точность измерений и, как следствие, хорошее качество конечного продукта – топографического плана пещеры.

К недостаткам... ну, наверняка недостатки тоже есть.

Удачи.

<http://speleo.land.kiev.ua>

apg@land.kiev.ua

Список литературы.

1. Данилов В.В., Хренов Л.С., Кожевников Н.П. и др. Геодезия. Изд. 2-е, перераб. - М.: Недра, 1976. - 488 с.: ил.
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.: ил.
4. В.В. Покалюк, В.П. Прохоренко, А.П. Грачов, И.М. Стефанишин. Комплексное морфоструктурное нивелирование пещеры Мушкарова яма (Приднестровское Подолье). <http://zursgs.com.ua/set/index.php?set=content&mc=53&tema=5>
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 топоъемки в горизонтальных пещерах <http://zursgs.com.ua/set/index.php?set=content&mc=67&tema=6>

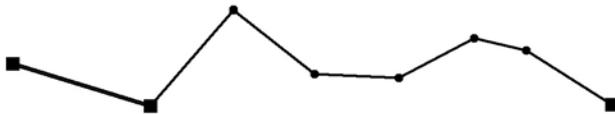
Приложения.

Приложение 1. Схемы линейно-угловых ходов

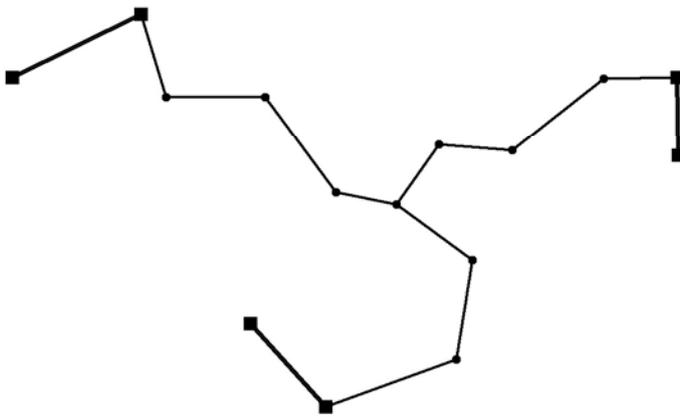
1 Разомкнутый ход



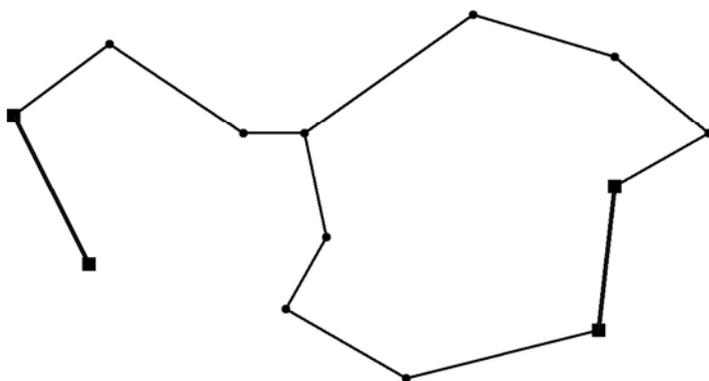
2 Разомкнутый ход с координатной привязкой



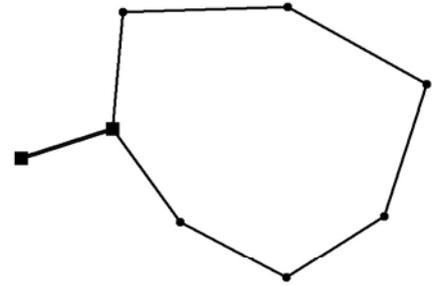
3 Система разомкнутых ходов с узловой точкой



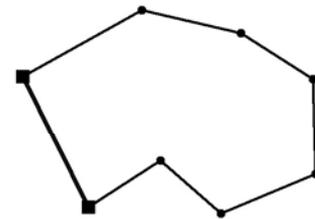
4 Комбинация ходов двух типов



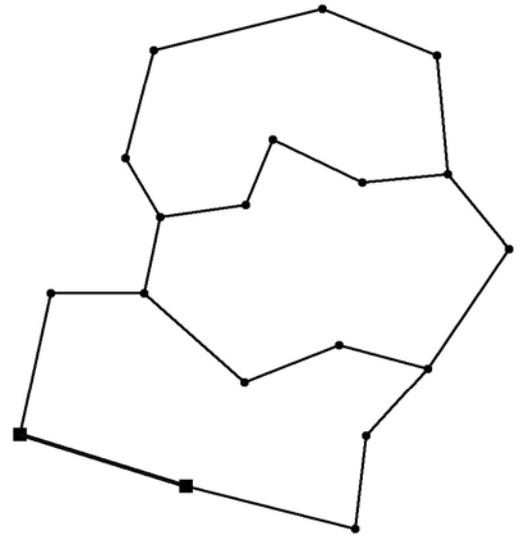
5 Замкнутый ход



6 Замкнутый ход с боковым базисом



7 Система замкнутых ходов



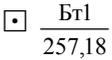
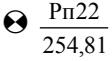
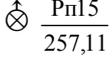
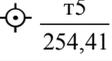
8 Висячий ход



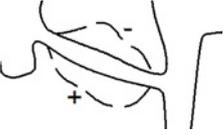
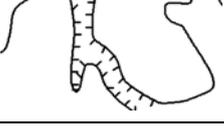
- Базисная точка
- Точка хода
- Базисная линия
- Линия хода

Приложение 2. Условные обозначения для топографических планов пещер

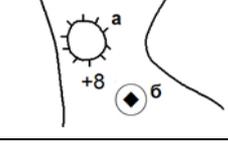
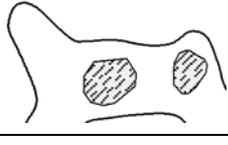
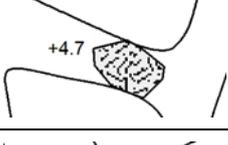
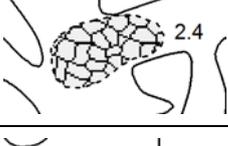
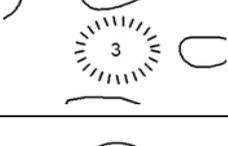
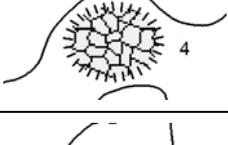
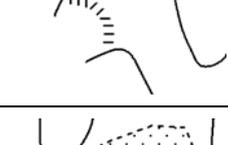
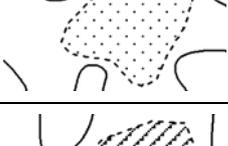
Класс 1: Геодезическое обоснование.

id	Название	Описание	Обозначение
1	Базовая точка	В числителе – имя/№ точки В знаменателе – абсолютная высота	
2	Репер		
3	Репер в потолке пещеры		
4	Точка съёмочного обоснования		
5	Пикетная точка		
6	Координатная сетка	Шаг 100 м Цвет: зеленый (0. 255. 0)	
7	Базисная линия		
8	Линейно-угловой ход	5 - № хода Цвет: синий (0. 0. 255)	

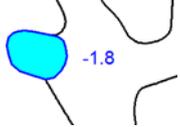
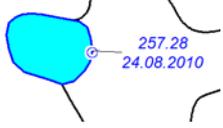
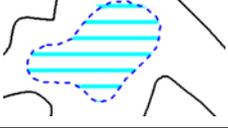
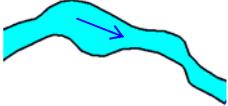
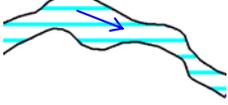
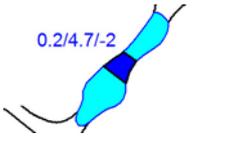
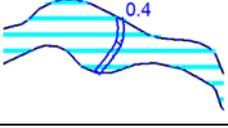
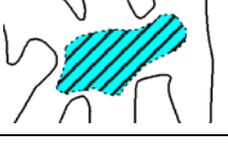
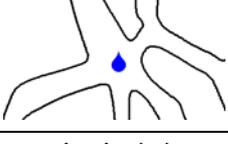
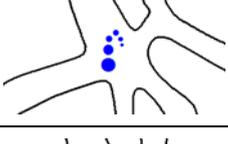
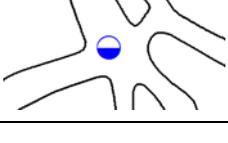
Класс 2: Контуры пещеры.

id	Название	Описание	Обозначение
9	Контуры стен основного хода (этажа) пещеры.	Цвет: черный	
10	Этажность. Нижние или верхние этажи пещеры	Цвет: отличный от черного - 1, -2, -3 - нижние этажи + 1, +2, +3 - верхние этажи	
11	Расширение основного хода пещеры или глухого колодца «бутылка»	Знак определяет место расширения - внизу хода + вверху хода	
12	Непроходимое продолжение хода, предполагаемый контур		
13	Возможное продолжение хода		
14	Продолжение хода		
15	Щелевидный ход		

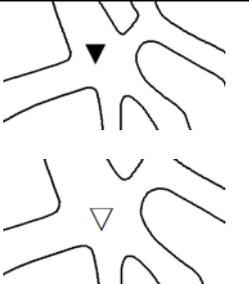
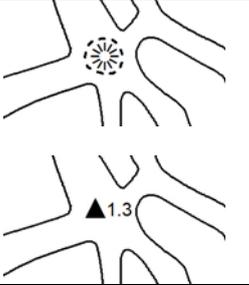
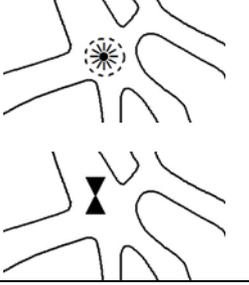
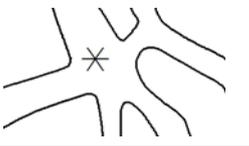
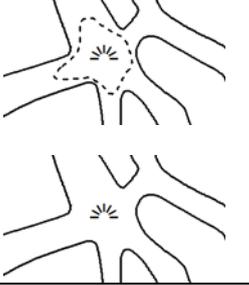
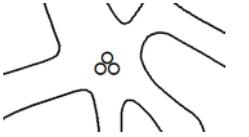
Класс 3: Объекты пещеры.

id	Название	Описание	Обозначение
16	Колодец в пещере, переход между этажами	- 4 - глубина колодца до нижнего этажа + 4 - высота колодца до верхнего этажа	
17	Обрыв, уступ	- 5 – глубина (м)	
18	Камин	а – выраженный в масштабе б – не выраженный в масштабе +8 - высота камина (м)	
19	Отдельно лежащие камни, глыбы	Цвет фона: серый (240. 240. 240)	
20	Расклиненные камни	±4,7 – высота/глубина (м)	
21	Глыбовый навал	2,4 – высота навала (м)	
22	Глыбовый завал		
23	Высыпка	3 - высота (м)	
24	Высыпка с камнями	4 - высота (м)	
25	Высыпка перекрывающая проход		
26	Отложения песка		
27	Отложения глины		

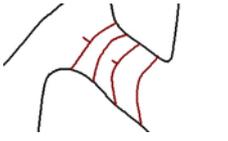
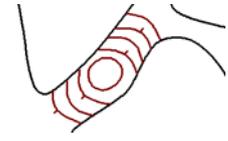
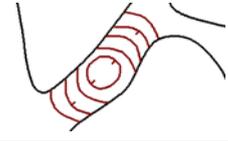
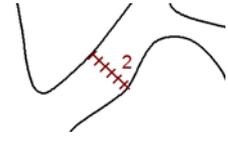
Класс 4: Объекты пещеры. Гидрография.

id	Название	Описание	Обозначение
28	Озеро	Цвет: фона - голубой (0. 255. 255) контур – синий (0. 0. 255) -1,8 глубина (м)	
29	Урез воды	В числителе – абсолютная высота В знаменателе – дата наблюдения	
30	Озеро временное		
31	Постоянный водоток	 направление течения	
32	Временный водоток		
33	Сифон	$\pm 0,2$ – воздушное пространство (м) 4,7 – длина сифона (м) -2 – глубина сифона (м)	
34	Плотины (гуры)	0.4 – глубина (м)	
35	Жидкая глина		
36	Капель		
37	Интенсивная капель		
38	Водяная накопительная система		

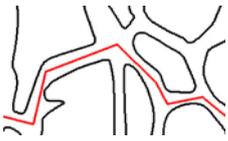
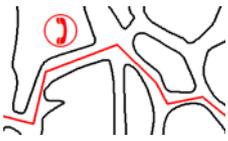
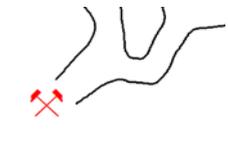
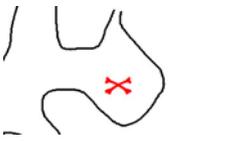
Класс 5: Объекты пещеры. Вторичные образования.

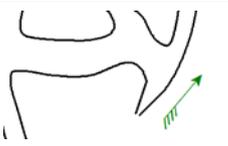
Id	Название	Описание	Обозначение
39	Сталактиты	Кальцитовые Глиняные	
40	Сталагмиты	Выраженные в масштабе Не выраженные в масштабе 1,3 - высота (м)	
41	Сталагматы	Выраженные в масштабе Не выраженные в масштабе	
42	Натечная кора		
43	Кристаллы на стенах		
44	Кристаллы на полу	Выраженные в масштабе Не выраженные в масштабе	
45	Геликтиты		
46	Пещерный жемчуг		

Класс 6: Рельеф пещеры.

id	Название	Описание	Обозначение
47	Понижение, повышение хода	Цвет: коричневый (128. 0. 0) Высота сечения 0,5 – 1 м	
48	Пережат, бугор		
49	Яма		
50	Резкое понижение или повышение потолка пещеры	2 – разница высот (м)	

Класс 7: Дополнительные обозначения.

id	Название	Описание	Обозначение
51	Вход в пещеру		Ω
52	Подземный базовый лагерь (ПБЛ)	Цвет: красный (255. 0. 0)	
53	Трасса		
54	Пункт связи на трассе		
55	Забой		
56	Археологические находки		
57	Скопление костей		

58	Опасная зона		
59	Граница полигона		
60	Колонии летучих мышей		
61	Тяга воздуха		
62	Название мест в пещере		

Приложение 3. Словарь терминов.

Абрис (от нем. Abriß - чертеж) – схематически составленный чертеж местности, отображающий топографические объекты, необходимые для составления плана или профиля, а также для ориентирования на местности

Азимут магнитный (араб. as-sumut - путь, направление) – угол, отсчитываемый от северного направления магнитной стрелки компаса по часовой стрелке до заданного направления.

Алидада (от араб. аль-идада - линейка) – деталь горизонтального или вертикального круга астрономических и геодезических угломерных инструментов, вращающаяся вокруг оси, проходящей через центр лимба. С помощью двух верньеров или микроскопов, расположенных на противоположных концах алидады, производятся отсчёты угловых делений лимба.

Атрибут объекта - значение, характеризующее объект в его классе. Примеры атрибутов: сталактит, кристалл (атрибуты объектов класса «вторичные образования»); озеро, река, ручей (атрибуты объектов класса «гидрография») и т.д.

Среди атрибутов различаются постоянные атрибуты (константы) и переменные атрибуты. Постоянные атрибуты характеризуют объект в его классе (например, глубина колодца и т.п.). Текущие значения переменных атрибутов характеризуют текущее состояние объекта (например, отметка уреза воды, глубина озера и т.п.); изменяя значения этих атрибутов, мы изменяем состояние объекта

Аффинные преобразования - точечные взаимно однозначные отображения плоскости (пространства) на себя, при которых прямые переходят в прямые. Если на плоскости задана декартова система координат, то любое Аффинные преобразования этой плоскости может быть определено посредством т. н. невырожденного линейного преобразования координат x и y точек этой плоскости. Такое преобразование задаётся формулами $x'' = ax + by + p$, и $y'' = cx + dy + q$ с дополнительным требованием

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

Базисная сторона (Базис) (от греч. basis - линия) – линия на местности, полученная из непосредственных измерений с высокой точностью и служащая для определения длин сторон в геодезической сети (в триангуляции).

Верньер – приспособление, с помощью которого отсчитывают доли делений основной шкалы лимба в геодезических приборах. Действие верньера основано на способности глаза уверенно устанавливать совпадение двух штрихов, когда один из них является продолжением другого и концы их совпадают.

WGS84 (World Geodetic System 1984) - трёхмерная система координат для позиционирования на Земле. В отличие от локальных систем, является единой системой для всей планеты. WGS 84 определяет координаты относительно центра масс Земли, погрешность составляет менее 2 см. В WGS84, нулевым меридианом считается «IERS Reference Meridian». Он расположен на 5,31” к востоку от Гринвичского меридиана.

Генерализация - процесс обобщения данных для упрощения их восприятия или обработки. Например, река может содержать множество изгибов и рукавов; однако на обзорной карте, охватывающей большую территорию, такая река может быть обозначена прямой линией. Аналогично города, которые в действительности являются площадными объектами, на обзорных Картах показываются точками.

Географическая информационная система (ГИС) – информационная аппаратно-программная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственных данных.

Геодезические знаки – наземные сооружения и подземные устройства, которыми обозначаются и закрепляются на местности геодезические пункты.

Геодезическая задача – математического вида задача, связанная с определением взаимного положения точек земной поверхности и подразделяется на прямую и обратную задачу.

- **Прямой геодезической задачей (ПГЗ)** называют вычисление геодезических координат - широты и долготы некоторой точки, лежащей на земном эллипсоиде, по координатам другой точки и по известным длине и дирекционному углу данного направления, соединяющей эти точки.
- **Обратная геодезическая задача (ОГЗ)** заключается в определении по геодезическим координатам двух точек на земном эллипсоиде длины и дирекционного угла направления между этими точками.

Геодезический пункт – точка на земной поверхности, положение которой определено в известной системе координат и высот на основании геодезических измерений.

Геодезические работы – полевые и камеральные работы, основным назначением которых является сбор данных для определения фигуры, размеров, гравитационного поля Земли, координат точек земной поверхности и их изменений во времени.

К геодезическим видам производственных работ относят: создание государственной геодезической и нивелирной сетей (геодезическая сеть), сгущение государственной геодезической сети, восстановление государственной геодезической сети, геодинамические измерения, геодезическое обеспечение, инженерно-геодезические изыскания, съемка подземных коммуникаций, геодезические работы при строительстве, наблюдение за деформациями сооружений и др.

Геоид (греч. geoeides, от ge – Земля и eidos – вид) – образованная основной уровенной поверхностью замкнутая фигура, принимаемая за обобщенную поверхность Земли.

Государственная геодезическая сеть (ГГС) – система закрепленных на местности пунктов, положение которых определено в единой системе координат и высот. ГГС предназначена для решения задач, имеющих хозяйственное, научное и оборонное значение.

Девияция - обусловлена наличием местных магнитных полей, налагающихся на магнитное поле Земли. Местное магнитное поле могут создавать корпус судна, груз, крупные массы железных руд, расположенные неподалеку от компаса, и другие объекты. Правильное направление получают, учитывая в показаниях компаса поправку на девияцию.

Дирекционный угол (от франц. direction – направление) – угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана по ходу часовой стрелки до данного направления. С помощью дирекционного угла решаются все геодезические задачи, он применяется в методах получения координат и т.п. Дирекционный угол используется также в артиллерии, навигации и прочих науках.

Дифференциальные спутниковые измерения – метод спутниковых измерений, в котором определяются расстояния (приращения) между измеряемой точкой и точкой с известными координатами (исходной).

Дифференциальный режим реализуется с помощью контрольного навигационного приемника, называемого базовой станцией. Базовая станция устанавливается в точке с известными координатами. Сравнивая известные координаты (полученные в результате прецизионной геодезической съемки) с измеренными координатами, базовый навигационный приемник формирует поправки, которые передаются потребителям по каналам связи.

Идентификатор - уникальный признак субъекта или объекта. Идентификаторы активно используются практически во всех информационных системах. Именование сущностей делает возможным ссылки на них, которые могут использоваться позже.

Картографические работы – работы (камеральные), основным назначением которых является создание картографической продукции по результатам съемки или по исходным картографическим материалам, а также создание цифровых и электронных карт и цифровые технологические процессы сбора, обработки и представления цифровой картографической информации, связанной географически и используемой в ГИС

Компас горный - основной инструмент, при помощи которого геолог производит полевые наблюдения: определяет азимуты различных направлений и элементы залегания пластов.

Кроки (от фр. croquis - набросок) – схематический набросок или план местности, сделанный путем глазомерной съемки или с измерением линейных расстояний до определенных ориентиров.

Курвиметр (от лат. curvus - кривой) – прибор для измерения длин отрезков кривых и извилистых линий на топографических планах, картах и графических документах.

Лимб (от лат. limbus – кайма) – плоское металлическое кольцо, разделённое штрихами на равные доли окружности (например, градусы, минуты или др.). Лимб – наиболее важная часть угломерных инструментов (астрономических, геодезических, физических и др.), служащая для отсчётов величин углов. Деления на лимбе отсчитываются с помощью верньеров или микрометров.

Линейно-угловой ход (геодезический ход) - построение на местности в виде ломаной линии, на вершинах которой измеряются горизонтальные углы и расстояния между соседними точками. По форме и полноте исходных данных линейно-угловые ходы подразделяются на следующие виды:

- **разомкнутый линейно-угловой ход** - исходные пункты с известными координатами и исходные дирекционные углы есть в начале и в конце хода.
- **замкнутый линейно-угловой ход** - начальный и конечный пункты хода совмещены; один пункт хода имеет известные координаты и называется исходным пунктом; на этом пункте должно быть исходное направление с известным дирекционным углом, и измеряется примычный угол между этим направлением и направлением на второй пункт хода.
- **висячий линейно-угловой ход** имеет исходный пункт с известными координатами и исходный дирекционный угол только в начале хода.

Геодезический ход, служит плановым съемочным обоснованием для топографических съемок или других видов геодезических работ.

Магнитное склонение – угловая разница между магнитным и истинным полюсом обусловленная тем, что магнитный северный полюс Земли смещен на 2100 км относительно истинного, географического. Магнитное склонение изменяется по времени и от точки к точке на земной поверхности. В результате измерений магнитного поля Земли получены карты склонения, которые дают величину магнитного склонения и скорость его изменения в разных районах. Контур нулевого магнитного склонения на таких картах, исходящие из северного магнитного полюса, называются агоническими линиями или агонами, а контуры равного магнитного склонения – изогоническими или изогонами.

Масштаб (нем. Maßstab, букв. «мерная палка»: Maß «мера», Stab «палка») - в общем случае отношение двух линейных размеров. Во многих областях практического применения масштабом называют отношение размера изображения к размеру изображаемого объекта. Понятие масштаб наиболее распространено в геодезии, картографии и проектировании - отношение натуральной величины объекта к величине его изображения.

Масштаб карты - соотношение длин объектов на карте и на поверхности земли. Обычно задается в виде отношения, например, 1:10000. Это означает, что единица измерения длин на карте (скажем, один сантиметр) соответствует 10000 таких единиц на поверхности Земли. Термин масштаб следует использовать очень осторожно. С технической точки зрения, карта городского квартала является крупномасштабной (скажем, 1:12000), а обзорная карта всего государства является мелкомасштабной (например, 1:1000000). Карта масштаба 1:1000000 считается мелкомасштабной из-за того, что при делении на 1 000 000 получаются небольшие числа.

Масштабная линейка - элемент оформления карты, который наглядно показывает соотношение расстояний на карте и на земной поверхности.

Меридиан – линия земной поверхности, все точки которой имеют одну и ту же долготу. Меридиан указывает направление юг-север. Различают: астрономический меридиан - образуется сечением земной поверхности плоскостью, проходящей через отвесную линию в данной точке и параллельно оси вращения Земли; геодезический меридиан - определяется плоскостью, проходящей через нормаль к поверхности земного эллипсоида в данной точке и его малую ось; геоцентрический меридиан - определяется плоскостью, проходящей через данную точку и ось вращения Земли; начальный меридиан - меридиан Гринвича, являющийся началом отсчета долгот; **осевой меридиан** - меридиан, принятый за ось системы координат на плоскости (поверхности).

Невязка – разность между значением функции, вычисленным по результатам измерений, и истинным ее значением, возникающая вследствие неизбежных погрешностей измерений. Есть несколько разновидностей невязок. Существуют фактическая и допустимая (найденная по формуле) невязки, по сравнению которых определяется качество выполненных работ. Характеризуют качества работы относительная и абсолютная невязки. Невязки, характеризующие погрешность определенного вида измерений: угловая, линейная, высотная невязки.

Опорная геодезическая сеть – система определенным образом выбранных и закрепленных на местности точек, служащих опорными пунктами при топографической съёмке и геодезических измерениях на местности.

Оригинал карты – первичный экземпляр карты, полностью включающий ее содержание и составленный в установленных картографических знаках с заданной генерализацией и точностью

Пикет (от франц. piquet – кол), в геодезии – точка на местности (обозначенная колышком), служащая ориентиром для установки рейки при выполнении топографической съёмки и нивелировании.

Полигоны Вороного представляют собой области, образуемые на заданном множестве точек таким образом, что расстояние от любой точки области до данной точки меньше, чем для любой другой точки множества. Границы полигонов Вороного являются отрезками перпендикуляров, восстановленных к серединам сторон треугольников в триангуляции Делоне, которая может быть построена относительно того же точечного множества. Названа в честь Георгия Вороного. Также известна как мозаики Вороного, диаграммы Вороного, полигоны Дирихле, ячейки Вигнера-Зейтца, полигоны Тиссена, многоугольники близости.,

Полигон, объект-полигон - простой площадной объект. "Простой" означает, что он состоит из единственной замкнутой фигуры. Сложный полигон это объединенные в один объект множество простых полигонов

Полилиния, объект-полилиния - объект на карте, ломаная линия, определяемая последовательностью пар координат Имеет более двух узлов, то есть не только точки начала и конца.

Приемник GPS – радиоприемное устройство для определения географических координат текущего местоположения антенны приемника, на основе данных о временных задержках прихода радиосигналов, излучаемых искусственными спутниками Земли.

Максимальная точность измерения составляет 3–5 м, а при наличии корректирующего сигнала от наземной станции – до 1 мм на 1 км расстояния между станциями (дифференциальный метод). Точность коммерческих GPS-навигаторов составляет от 150 метров (при плохой видимости спутников) до 3 метров (на открытом месте). Кроме того, при использовании систем SBAS и местных систем передачи поправок точность может быть повышена до 1–2 метров по горизонтали.

Пространственный анализ - процедура, при которой на исходные картографические данные накладываются некоторые условия с целью получения новой информации. Включает в себя такие функции, как оверлей полигонов, построение буферных зон, проверка принадлежности точки полигону и т.п.

Прямоугольная система координат – система плоских координат образованная двумя взаимно перпендикулярными прямыми линиями, называемыми осями координат x и y . Точка их пересечения называется началом или нулем системы координат. Ось абсцисс – Ox , ось ординат – Oy . Существуют две системы прямоугольных координат: левая и правая. В геодезии применяется левая система. Положение точки в прямоугольной системе однозначно определяется двумя координатами X и Y ; координата X выражает расстояние точки от оси Oy , координата Y – расстояние от оси Ox . Значения координат бывают положительные (со знаком "+") и отрицательные (со знаком "-") в зависимости от того, в какой четверти находится искомая точка.

Растровое изображение - Компьютерное представление графического материала в виде набора точек. Растровые изображения иногда называют битовыми картами (bitmap). Космические и аэрофотоснимки являются наиболее часто используемыми в ГИС растровыми изображениями. Компьютерное изображение может быть представлено как в растровом, так и в векторном формате

Рекогносцировка – осмотр и обследование местности с целью выбора положения геодезических опорных пунктов для обоснования топографических съёмок.

Рельеф – совокупность неровностей земной поверхности.

Румб (англ. rhumb) – острый угол, отсчитываемый от ближайшего северного или южного направления осевого меридиана зоны до ориентируемой линии. По румбом также подразумевают направление к точкам видимого горизонта относительно стран света или угол между двумя такими направлениями.

Система глобального позиционирования GPS (англ. Global Positioning System) – американская спутниковая система навигации, часто именуемая GPS. Позволяет в любом месте Земли (включая приполярные области), почти при любой погоде, также в космическом пространстве на расстоянии до 100 км от поверхности Земли, определить местоположение и скорость объектов. Система разработана, реализована и эксплуатируется Министерством обороны США.

Основной принцип использования системы – определение местоположения путем измерения расстояний до объекта от точек с известными координатами – спутников. Расстояние вычисляется по времени задержки распространения сигнала от послышки его спутником до приема антенной GPS-приемника. То есть для определения трехмерных координат GPS-приемнику нужно знать расстояние до 3 спутников и время GPS системы.

Основой системы являются навигационные спутники, движущиеся вокруг Земли по 6 круговым орбитальным траекториям (по 4 спутника в каждой), на высоте 20180 км. Спутники излучают сигналы в диапазонах: $L1=1575,42$ МГц и $L2=1227,60$ МГц, последние модели также на $L5=1176,45$ МГц. Навигационная информация может быть принята антенной (обычно в условиях прямой видимости спутников) и обработана при помощи GPS-приемника. Информация в C/A коде (стандартной точности), передаваемая с помощью $L1$, распространяется свободно, бесплатно, без ограничений на использование. Военное применение (точность выше на порядок) обеспечивается

зашифрованным P(Y) кодом. 24 спутника обеспечивают 100% работоспособность системы в любой точке земного шара, но не всегда могут обеспечить уверенный прием и хороший расчет позиции. Поэтому, для увеличения точности позиции и резерва на случай сбоев, общее число спутников на орбите поддерживается в большем количестве (31 к сентябрю 2007 года). Максимальное возможное число одновременно работающих спутников в системе NAVSTAR ограничено 37.

Система координат – опорная система для определения положения точек в пространстве или на плоскостях и поверхностях относительно выбранных осей, плоскостей или поверхностей. В геодезии применяется большое количество систем координат. Основные из них – общеземные системы, референсные системы, системы астрономических и геодезических координат, пространственные прямоугольные и системы прямоугольных координат на плоскости.

Слой - структурная единица карт в ГИС. Карта, как правило, состоит из нескольких наложенных один поверх другого слоев (например, слоя улиц, наложенного поверх слоя городов, наложенного поверх слоя государств).

Снижение точности (DOP) (англ. Dilution of precision) – термин, использующийся в системах спутниковой навигации для описания силы геометрического взаиморасположения спутников друг относительно друга. Когда спутники в области видимости находятся слишком близко друг к другу говорят о «слабой» геометрии расположения (высоком значении DOP), и, наоборот, при достаточной удаленности геометрию считают «сильной» (низкое значение DOP). Термин может применяться не только в спутниковом позиционировании, но и в других системах локации, включающим другие, географически разнесенные станции.

Факторы, влияющие на снижение точности: орбиты спутников; наличие объектов-помех, закрывающие необходимые области неба; влияние атмосферы; отражение радиоволн.

Спутниковая система навигации – комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты), а также параметров движения (скорости и направления движения и т. д.) для наземных, водных и воздушных объектов.

Основными элементами спутниковой системы являются: орбитальная группировка, состоящая из нескольких (от 6 до 30) спутников, излучающих специальные радиосигналы; наземная система управления и контроля, включающая блоки измерения текущего положения спутников и передачи на них полученной информации для корректировки информации об орбитах; приемное клиентское оборудование, используемое для определения координат; информационная радиосистема для передачи пользователям поправок, позволяющих значительно повысить точность определения координат.

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Таблица положений всех спутников называется альманахом, которым должен располагать любой спутниковый приемник до начала измерений. Обычно приемник сохраняет альманах в памяти со времени последнего выключения и если он не устарел – мгновенно использует его. Каждый спутник передает в своём сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений, на основе альманаха, можно вычислить положение объекта в пространстве.

Стили объектов - это назначаемые пользователем атрибуты, общие для целой группы объектов. Нередко несколько объектов должны иметь одинаковую толщину штриха, один и тот же цвет и одну и ту же заливку. Вместо того, чтобы присваивать эти атрибуты по отдельности, можно определить их сразу все в качестве стиля.

Топография (от греч. topos – место) – научно-техническая дисциплина, раздел геодезии, занимающаяся географическим и геометрическим изучением местности путём создания топографических карт на основе съёмочных работ.

Топографический план (от лат. *planum* – плоскость) – крупномасштабный чертеж, изображающий в условных знаках на плоскости небольшой участок земной поверхности, построенный без учета кривизны уровенной поверхности и сохраняющий постоянный масштаб в любой точке и по всем направлениям.

Топографические работы – полевые и камеральные работы, основным назначением которых является топографическая съёмка с целью получения оригиналов топографических карт и планов. К топографическим видам производственных работ относятся: топографическая съёмка, фототопографическая съёмка, аэрофототопографическая съёмка, фототеодолитная съёмка и др.

Топографо-геодезические работы – совмещение геодезических и топографических работ, выполняемых по единому проекту или плану.

Топографическая съёмка — совокупность работ по созданию топографических карт или планов местности посредством измерений расстояний, высот, углов и т. п. с помощью различных инструментов (наземная съёмка), а также получение изображений земной поверхности с летательных аппаратов (аэрофотосъёмка, космическая съёмка).

Наземные съёмки бывают плановые, высотные и комбинированные. При плановой получается топографическая карта, но без учета рельефа, т.е. только ситуация (совокупность объектов местности). Высотная съёмка отображает характеристики рельефа. Комбинированная съёмка представляет собой сочетание высотной и плановой съёмок. Топографическая съёмка, особенно крупных масштабов, является наиболее востребованным видом геодезических работ. Потребности в ней могут возникнуть при изысканиях, обновлении топокарт, составлении генпланов, составлении рабочих чертежей, для решения вертикальной планировки, проектировании ландшафтного дизайна др. На основе топографической съёмки возможно построить цифровую модель местности.

Точка, точечный объект - графический объект, определяемый единственной парой координат X и Y. Каждой точке сопоставляется свой вид символа (например, кружок, квадрат и т.п.).

Точка съёмочного обоснования (геодезический пункт) – точка, положение которой определено в известной системе координат и высот на основании геодезических измерений. Система взаимно связанных геодезических пунктов образует геодезическую сеть, которая служит основой топографического изучения земной поверхности и всевозможных геодезических измерений для различных нужд.

Триангуляция (от лат. *triangulum* – треугольник) – один из методов создания опорной геодезической сети. Состоит в построении рядов или сетей примыкающих друг к другу треугольников и в определении положения их вершин в избранной системе координат.

Тригонометрическое нивелирование – определение высот точек земной поверхности относительно исходной точки с помощью угла наклона визирного луча, проходящего через две точки местности.

Узел - Конечная точка линейного объекта, либо вершина стороны полилинии или полигона

Уравнивание геодезических измерений – совокупность математических операций, выполняемых для получения вероятнейшего значения геодезических координат точек земной поверхности и для оценки точности результатов измерений. Уравнивание проводится для устранения невязок, обусловленных наличием ошибок в избыточно измеренных величинах, и для определения вероятнейших значений искомым неизвестных или их значений, близких к вероятнейшим. В процессе уравнивания это достигается путём определения поправок к измеренным величинам (углам, направлениям, длинам линий или превышениям).

В геодезической практике применяются различные способы уравнивания: параметрический, коррелятивный, комбинированный, рекуррентный, параметрический способ с зависимыми

переменными, коррелятный способ с дополнительными параметрами, способ последовательных приближений и др.

Урез воды - линия пересечения водной поверхности водотока или водоёма с поверхностью суши. Положение уреза непостоянно и зависит от колебаний уровня воды во время половодий, приливов, нагонов и сгонов воды. Поэтому урезы воды в реке или водоеме считают береговую полосу на каждый данный момент положения водной поверхности.

Цифровая карта – цифровая модель местности, созданная путем оцифровки картографических источников, фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования, цифровой регистрации данных полевых съемок или иным способом.

Цифровая карта служит основой для изготовления обычных бумажных, компьютерных, электронных карт, она входит в состав картографических баз данных, составляет один из важнейших элементов информационного обеспечения ГИС и может быть результатом функционирования ГИС.

Эклиметр (от греч. *ekklino* - отклоняю) – портативный геодезический прибор для измерения угла наклона линии местности к горизонту и определения уклонов и высот точек земной поверхности.

Электронная карта – цифровая картографическая модель, сформированная на машинном носителе с использованием программных и технических средств (ГИС) в принятой проекции, системе координат и высот, условных знаках, предназначенных для отображения, анализа и моделирования, а также решения информационных и расчетных задач по данным о местности и обстановке.

Цифровые топографо-геодезические электронные карты могут быть представлены в виде растровых электронных карт (планов) и векторных цифровых карт (планов).

- **Растровые электронные планы (карты)** – электронные планы (карты), картографическая информация которых представлена в виде матрицы, ее элементами являются коды цветов картографического изображения. Растровые электронные планы (карты) создаются путем сканирования традиционных топографических материалов или растеризацией векторных цифровых моделей местности. Растровые материалы могут быть черно-белыми, полутоновыми и цветными. Основной характеристикой растрового изображения является его плотность, измеряемая обычно в точках на дюйм (dpi).
- **Векторные электронные планы (карты)** – электронные планы (карты), картографическая информация которых представлена в виде последовательности векторов. Семантическая информация у векторных электронных планов (карт) может не определяться (отсутствовать). Векторные электронные планы (карты) создаются на основе автоматизированных методов (передача информации с электронных накопителей геодезических приборов) или путем сканирования графического изображения традиционных планов и их последующей векторизации.

Эллипсоид вращения – математически правильная поверхность, на которую можно перенести результаты измерений выполненных на физической поверхности Земли. Земной эллипсоид – эллипсоид, вращающийся вокруг своей малой оси.